

**EVALUACION Y COMPARACIÓN ENTRE EL CANAL DE PANAMÁ Y EL  
CANAL DEL DIQUE PARA LA OBTENCIÓN DE PARAMETROS HIDRAULICOS  
EN EL DISEÑO DE CANALES**

**VANESSA BELLO QUEVEDO**



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTDAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL  
BOGOTÁ, D.C.  
2017**

**EVALUACION Y COMPARACIÓN ENTRE EL CANAL DE PANAMÁ Y EL  
CANAL DEL DIQUE PARA LA OBTENCIÓN DE PARAMETROS HIDRAULICOS  
EN EL DISEÑO DE CANALES**

**VANESSA BELLO QUEVEDO**

**Trabajo**

**DIRECTOR DE PROYECTO  
JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO  
INGENIERO CIVIL MAGISTER RECURSOS HIDRÁULICOS**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL  
PREGRADO ACADEMICO  
BOGOTÁ, D.C.  
2017**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra)



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, D.C., octubre 26, 2017

## AGRADECIMIENTOS

*Debo dar tantas gracias a tantas personas que me han permitido llegar a este punto de mi vida. En primera medida a Dios padre todo poderoso por llenarme de salud y por guiarme por el buen camino, dándome la fuerza para no desfallecer en los momentos difíciles.*

*A mi familia por ese apoyo incondicional; especialmente a mis padres por ese gran esfuerzo para que mis sueños se cumplan, por ese amor incondicional y sincero, por ser mi mayor motor a seguir a delante, por enseñarme a ser una mejor persona cada día. A mis hermanos por brindarme su apoyo y compañía durante todo el trayecto de mi vida.*

*Agradezco a mis amigos que me han brindado su apoyo, por sus consejos, por desear que logre mis sueños y acompañarme en los buenos y malos momentos. A mi amiga Katherine Herrera por haber estado en mi vida brindándome su amistad y seguir acompañándome y protegiendo desde un lugar mejor.*

*Gracias también a mis compañeros y amigos que hice en el transcurso de la carrera y que algún día podre decir colegas. Al ingeniero Jesús Ernesto por guiarme durante el trayecto de este proyecto y brindarme de sus conocimientos.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
FICHA TÉCNICA	11
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2.1 Descripción del problema	15
1.2.2 Formulación del Problema	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo General.	15
1.3.2 Objetivos Específicos.	15
1.4 JUSTIFICACIÓN	15
1.5 DELIMITACIÓN	16
1.5.1 Espacio.	16
1.5.2 Tiempo.	16
1.5.3 Contenido.	16
1.6 ALCANCE	16
2. MARCO DE REFERENCIA	17
2.1 MARCO TEÓRICO	17
2.1.1 Información general del canal del Dique.	17
2.1.2 Información general del canal de Panamá.	18
2.2 MARCO CONCEPTUAL	22
2.3 MARCO LEGAL	23
2.3.1 Leyes aplicadas para el canal de Panamá.	23
2.3.2 Leyes aplicadas para el canal de dique.	23
2.4 ESTADO DEL ARTE	24
2.5 METODOLOGÍA	25
2.6 RECOPIACIÓN INFORMACIÓN CANAL DE PANAMÁ	25
2.6.1 Caudal.	26
2.6.2 Dimensiones de las esclusas.	27
2.6.3 Sección transversal.	30
2.6.4 Navegación.	30
2.6.5 Sedimentos.	31
2.6.6 Evaluación del Canal de Dique.	31
2.7 MONTAJES Y CARACTERÍSTICAS DE UN PROYECTO HIDRÁULICO	44
2.7.1 Montaje: Constructivo del canal de Panamá	44
2.7.2 Montaje: Constructivo del canal de Dique	46
2.7.3 Características del proyecto hidráulico del canal de panamá	47

2.7.4 Características del proyecto hidráulico del Dique.	48
2.8 IMPACTOS AMBIENTALES	49
2.8.1 Impacto del canal de Panamá	49
2.8.2 Impacto ambiental del canal de Dique	50
3. ANALISIS DE RESULTADOS	52
4. CONCLUSIONES	55
5. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFIA	59

## TABLAS

Tabla 1. Información Canal de Panamá	25
Tabla 2. Caudales Promedios Anuales (m <sup>3</sup> /s)	27
Tabla 3. Dimensiones de las esclusas antiguas	28
Tabla 4. Dimensiones de buque Panamax	28
Tabla 5 Dimensiones del nuevo juego de esclusas	29
Tabla 6. Dimendiones del Pospanamax	29
Tabla 7. Información Canal de Panamá	31
Tabla 8. Características generales del Canal del Dique	32
Tabla 9. Coeficiente de Rugosidad n	33
Tabla 10. Sección mínima requerida para navegación en el Canal del Dique	34
Tabla 11. Cuadro comparativo de los Canales de Panamá y del Dique	52
Tabla 12. Características del proyecto hidráulico del Canal de Panamá	47
Tabla 13. Características del proyecto hidráulico del Canal del Dique	48



## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del Canal del Dique	17
Ilustración 2 Esclusa de Miraflores	19
Ilustración 3. Esclusa de Pedro Miguel	20
Ilustración 4. Esclusa Gatún	20
Ilustración 5. Esclusa de Cocoliso	21
Ilustración 6. Esclusa de Agua Clara	21
Ilustración 7. Dimensiones de las esclusas	27
Ilustración 8. Buques Panamax	28
Ilustración 9. Buques Pospanamax	29
Ilustración 10. Sección transversal del nuevo juego de esclusas	30
Ilustración 11. Sección típica estrechamiento 1	34
Ilustración 12. Sección típica estrechamiento 2	35
Ilustración 13. Sección típica estrechamiento 3	35
Ilustración 14. Localización del sector pasacaballos	36
Ilustración 15. Perfil longitudinal por el eje del sector pasacaballos	37
Ilustración 16. Secciones Transversales Pasacaballos – Bahía de Cartagena	37
Ilustración 17. Localización tramo canal de Dique K3+000 - K5+000	38
Ilustración 18. Secciones Transversales K3+000-K5+000	38
Ilustración 19. Localización del sector del Dique Santa Lucia	39
Ilustración 20 Secciones transversales sección Santa Lucia	39
Ilustración 21. Localización del sector de las compuertas	40
Ilustración 22. Secciones transversales Canal del Dique las compuestas	40
Ilustración 23. Localización del sector Soplaviento	41
Ilustración 24. Secciones transversales sección Soplaviento	42
Ilustración 25. Niveles - Río Magdalena - Estación de Calamar	43
Ilustración 26. Balance sedimentológico actual en la zona del Canal del Dique	44
Ilustración 27. Esclusa de Calamar	46
Ilustración 28. Compuertas del canal de Mira Flores	47
Ilustración 29. Sección típica de prevención para el control de inundaciones	51

## **RESUMEN**

En el presente trabajo, se observan una serie de comparación de parámetros y características hidráulicas entre el canal de Panamá y el canal del Dique con la finalidad de mejorar las condiciones de diseño del canal del Dique. Adicionalmente, se identificaron los impactos ambientales más destacados con el propósito de buscar alternativas para minimizar su afectación en el canal del Dique.

Para tal fin, se recolecto información de las características del canal del Dique principalmente obtenida del Fondo de Adaptación, para determinar cuáles son sus mayores falencias. Posteriormente, se realizó una visita técnica internacional al canal de Panamá para reunir información de sus componentes hidráulicos y aspectos de innovación utilizados en el canal.

## **FICHA TÉCNICA**

### **TÍTULO**

Evaluación y comparación entre el canal de panamá y el canal del dique para la obtención de parametros hidraulicos en el diseño de canales.

### **ALTERNATIVA**

**Visita técnica internacional:** Intervención por parte del estudiante en el desarrollo de un proyecto de investigación a través de la cátedra impartida dentro del proceso académico actualmente existente.

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMATICO**

#### **LINEA DE INVESTIGACION**

**Gestión y Tecnologías para la Sustentabilidad de las Comunidades**

#### **EJE TEMÁTICO**

Diagnóstico y comparación de los parámetros del diseño del canal el Canal del Dique (costa Caribe de Colombia) con respecto al canal de Panamá.

## INTRODUCCIÓN

El canal del Dique, su nombre surgió del rompimiento de un dique que separaba las aguas del río Magdalena de las ciénagas adyacentes. Se encuentra localizado al norte de la República de Colombia, en el departamento de Bolívar entre las localidades de Calamar, y Pasacaballos (en la bahía de Cartagena) con un recorrido de 115 Km Es considerado una de las obras de ingeniería más importantes en la historia de nuestro país, que fue construida de manera empírica y clasificada con un canal excavado ya que no cuenta con ningún tipo de recubrimiento. Adicionalmente la subregión del Canal del Dique posee riquezas naturales como la diversidad de aguas (marina, fluvial, humedales, lluvias y subterráneas) y su biodiversidad (fauna, flora, suelos). La belleza de sus paisajes resulta ser un gran atractivo para el turismo ecológico y recreativo.

El canal fue construido en el siglo XVI para facilitar la navegación entre Cartagena y el río Magdalena, que facilita la comunicación con el interior del país a través de la estructura vial (marítima, lacustre y fluvial) que fluye del sur al norte del país. De otra parte, las aguas del canal abastecen acueductos y distritos de riego y los diversos usos de su suelo son de gran importancia, económica, social y ecológica. Sin embargo, el incremento de caudales del río Magdalena ha aumentado los sedimentos en la bahía de Cartagena, afectando negativamente al puerto, el turismo y la supervivencia de un extenso grupo de pobladores de la subregión que derivan su sustento en la actividad pesquera de las ciénagas que se alimentan del canal.

Por medio del desarrollo del presente documento, se realizará un diagnóstico y posterior optimización de la navegabilidad del río Magdalena en su transporte marítimo y conectividad y su mejoramiento dado la sedimentación que está afectando a estos grandes cuerpos de agua por medio del diseño de un nuevo canal del Dique que permita el acceso hacia la bahía de Cartagena en base a los parámetros de diseños de canales obtenidos en la visita técnica internación en el canal de Panamá.

En el canal de Panamá se podrá asistir a conferencias como las que se mencionan a continuación:

- El canal de Panamá
- Infraestructura del Canal de Panamá

- Historia del Canal
- Ampliación del Canal de Panamá
- Desarrollo y Avances de la Infraestructura Civil del Canal de Panamá

Con el fin de obtener información que permita comparar el diseño del Panamá con el diseño del canal del dique.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En el siglo XX, las intervenciones han incrementado el caudal desviado del río Magdalena en más de un 50% y elevado significativamente el transporte de sedimentos. Pese a todos los esfuerzos, que trascendieron en el tiempo, el 30 de noviembre de 2010, en medio de un periodo de lluvias excepcionales por el Fenómeno de “La Niña”, se rompe uno de los diques carreteables, causando la inundación en la mitad sur del departamento del Atlántico.

La ola invernal producida por el fenómeno de la niña ocurrido el 2010 produjo que los del Canal del Dique así como de las ciénagas y caños del Sistema se incrementaron de manera extrema. Lo anterior, unido a la rotura de un corto tramo del dique carreteable entre Calamar y Villa Rosa, produjo inundaciones en la zona geográfica del sur del departamento del Atlántico y centro del departamento de Bolívar. Como resultado se vieron afectados 100 mil damnificados y por alrededor de un año permanecieron inundadas 54.000 Ha, generando pérdidas incalculables en vivienda, industria, agricultura e infraestructura. Adicionalmente se evidencio la vulnerabilidad estructural del sistema del Canal del Dique.

A partir de la situación vivida por la subregión del canal del Dique, en septiembre de 2011 el Fondo de Adaptación<sup>1</sup> aprobó el proyecto planteado por CORMAGDALENA. EL proyecto que tituló “Restauración de Ecosistemas Degradados del Canal del Dique”, el cual tiene como objetivo primordial: “Las obras de regulación de caudales para control de inundaciones, el ingreso de sedimentos y recuperación ambiental, el mantenimiento de la navegación mayor, el control de los niveles de agua, mejorar las conexiones ciénaga-ciénaga y ciénagas-canal del dique, mantener las condiciones de los accesos de agua potable y otros servicios en el área del Canal del Dique. Así como el mejoramiento de las condiciones sociales de las poblaciones ribereñas”. Las obras a contratar inicialmente para evitar inundaciones se enmarcan dentro de las Acciones preventivas inmediatas del Plan de manejo hidrosedimentológico y ambiental del Sistema Canal del Dique, contratado por el Fondo Adaptación con el CONSORCIO DIQUE (Contrato 134-2013), con fecha de inicio 12 de Agosto de 2013 y cuyo cronograma general se está cumpliendo en los tiempos previstos. El plazo del proyecto de restauración del Sistema Canal del Dique es de 49 meses y de acuerdo con el cronograma definido, es hizo necesario proteger a las

---

<sup>1</sup> Canal del Dique- Fondo Adaptación- sitio [en línea]: [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: web: <http://sitio.fondoadaptacion.gov.co/index.php/el-fondo/macroyectos/canal-del-dique>>

poblaciones de inundaciones durante el tiempo que se requiere para el diseño y la construcción de las obras mayores o principales; los 5 tramos prioritarios se enmarcan dentro de éste objetivo.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

**1.2.1 Descripción del problema.** Para el diseño de canales con caudales altos hace falta conocer parámetros de diseño hidrológicos e hidráulicos, la visita al canal de Panamá permite adquirir conocimientos sobre el diseño y compara esta información con la investigación realizada en el canal del Dique

**1.2.2 Formulación del Problema.** A partir de la comparación de los parámetros hidrológicos e hidráulicos entre el canal de Panamá y del Dique ¿Se puede deducir parámetros de diseño para diseñar canales de caudales altos?

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo General.** Realizar un diagnóstico y evaluar de los parámetros de diseño utilizados en el canal del Dique y en base a visita técnica al canal de Panamá, se recopilara información de carácter técnico, operativo e hidráulico.

**1.3.2 Objetivos Específicos.** Análisis y comparación entre el diseño y diagnóstico del canal de Panamá y el canal del Dique, en búsqueda de soluciones para el mejoramiento del funcionamiento del canal del Dique, es decir, mirar los niveles y caudales, áreas transversales del canal, indicando profundidades, ancho y comparar con el canal del dique.

- Mostrar e identificar las características del proyecto hidráulico del canal de Panamá y el canal del Dique.
- Identificar los principales impactos ambientales que causa cada tipo de diseño en la zona de desarrollo.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Con el fin de mejorar las condiciones del Canal del Dique y prevenir el rebosamiento y sedimentación producidos por los incrementos de caudales y material arrojado por las poblaciones aledañas y así evitar futuros desbordamientos, se verifica con el diseño del canal de Panamá.

## **1.5 DELIMITACIÓN**

**1.5.1 Espacio.** El proyecto se divide en dos espacios uno el canal de panamá y el canal del dique en la región caribe de Colombia.

Se efectuaron visitas en la esclusa de mira flores y Cocoliso donde se recopiló información del canal. Sin embargo y aunque no se haya efectuado ninguna visita al canal del dique se pudo recopilar la información a partir de páginas, artículos y estudios previos al canal.

**1.5.2 Tiempo.** El tiempo estimado para cumplir con los objetivos propuestos y cumplir las expectativas del proyecto es de aproximadamente cuatro (4) meses durante el periodo 2017-2.

**1.5.3 Contenido.** Una de las dificultades para obtención de los parámetros del canal del dique fue la recopilación de la información.

## **1.6 ALCANCE**

Se pretende hacer la entrega de un comparativo de los parámetros de diseño entre el canal de Panamá y el canal del Dique, a partir de los conocimientos adquiridos en la visita internacional al canal de Panamá y con la información recopilada de ambos canales con el fin de buscar mejoramiento al canal del Dique.



## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO

**2.1.1 Información general del canal del Dique.** El Canal del Dique se bifurca del río Magdalena en la población de Calamar (Bolívar), 110 kilómetros arriba de la desembocadura del río en Bocas de Ceniza. Tiene una longitud de 113 kilómetros con desembocadura principal por la Bahía de Cartagena y tres desembocaduras adicionales, una por el caño Correa, mar afuera, y las otras dos por los caños Matunilla y Lequerica, hacia la bahía de Barbacoas<sup>2</sup>.

Ilustración 1. Ubicación del Canal del Dique



Fuente: Solución para el canal del Dique en 2017 [en línea]: [citado 12 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.elspectador.com/noticias/nacional/solucion-el-canal-del-dique-2017-articulo-444714>>

De acuerdo a sus características fisiográficas, hidrológicas y topográficas, la subregión está subdividida en tres sectores:

<sup>2</sup> El canal del dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica, por María M. Aguilera Díaz, Mayo de 2006- [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.banre/p.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-72\\_\(VE\).pdf](http://www.banre/p.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-72_(VE).pdf)>

- **Alto Canal del Dique:** Se encuentra compuesto por los municipios de Manatí, Repelón, Santa Lucía, Sabanalarga, Luruaco, Suan, Campo de la Cruz, Calamar, Arroyo Hondo, Soplaviento, y San Cristóbal. Comprende los primeros 33 kilómetros del Canal, incluyendo un sector del río Magdalena próximo a Calamar. Este incluye un sector del río Magdalena, de 20 kilómetros de longitud, en la derivación del Canal del Dique y se encuentran las ciénagas de los Negros y Jobo, el embalse del Guájaro y el Distrito de Riego Atlántico 3.
- **Medio Canal del Dique:** Conformado por los municipios de Mahates, Arjona, María la Baja, y San Estanislao. Ahí se encuentra el complejo cenagoso Canapote, Tupe y Zarzal, las ciénagas de Matuya, Maríalabaja, Luisa y Aguas Claras.
- **Bajo Canal del Dique:** Conformado por parte de los municipios de Maríalabaja, Arjona y los municipios de Turbana, Cartagena y San Onofre. Comprende una zona fluvio-marina entre el estrecho de Rocha-Correa hasta la desembocadura en el mar abierto y en las bahías de Cartagena y Barbacoas. Se encuentra la ciénaga de Juan Gómez, fuente de agua del acueducto de Cartagena; además hay otras ciénagas que no están directamente conectadas con el canal sino en épocas de desborde de niveles altos. Esta es una zona que, por estar afectada por la intrusión salina, se caracteriza por la presencia de bosques de manglar y las piscinas de las empresas camaronera<sup>3</sup>.

**2.1.2 Información general del canal de Panamá.** Canal de navegación, ubicado en Panamá, en el punto más angosto del Istmo de Panamá, entre el Mar Caribe y el Océano Pacífico. Inaugurado el 15 de agosto de 1914, ha acortado el tiempo de comunicación marítima interoceánica. Proporciona una vía de tránsito corta y relativamente barata. Estados Unidos y China son los principales usuarios del Canal<sup>4</sup>.

La Ampliación del Canal de Panamá es el proyecto de infraestructura más grande que la vía interoceánica ha tenido desde su apertura en 1914. Considerado y analizado durante más de una década y sustentado con más de 100 estudios, el Canal ampliado proporciona a las navieras, productores y consumidores mayores opciones de transporte de carga, mejor servicio marítimo y de logística, y una mejora en la eficiencia de su cadena de suministro.

---

<sup>3</sup> AGUILERA DÍAZ, María M. El canal del dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica. Mayo de 2006. [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-72\\_\(VE\).pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-72_(VE).pdf)>

<sup>4</sup> Ampliación canal de Panamá, [en línea]: [citado 12 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliacion/>>

Desde su inauguración el 26 de junio de 2016, el Canal Ampliado aumentó la capacidad de la vía para atender la creciente demanda del comercio marítimo por utilizar buques de mayores dimensiones, con lo que la ruta por Panamá proporciona importantes economías de escala.

La Ampliación del Canal de Panamá añadió un tercer carril para el tránsito de buques de mayor tamaño, con la construcción de un complejo de esclusas en el Atlántico y otro en el Pacífico. Las nuevas esclusas son 70 pies más anchas y 18 pies más profundas que las actuales, pero utilizan menos agua gracias a las tinajas de reutilización de agua que reciclan el 60% del agua utilizada en cada esclusa. Enfocado al servicio al cliente, el Canal de Panamá continuará proporcionando al mundo y al comercio mundial nuevos productos y servicios por los próximos 100 años y más<sup>5</sup>.

El canal de Panamá cuenta con tres esclusas iniciales las cuales son:

- La esclusa de Miraflores

Ilustración 2. Esclusa de Miraflores



Fuente: Esclusa de mira flores –Autor

---

<sup>5</sup> CANAL PANAMÁ [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliacion/>>

- Esclusa de Pedro Miguel

Ilustración 3. Esclusa de Pedro Miguel



Fuente: Esclusa de Pedro Miguel - Presentación Universidad tecnológicas de Panamá

- Esclusa Gatún

Ilustración 4. Esclusa Gatún



Fuente: Esclusa de Gatún - Presentación Universidad tecnológica de Panamá

Posteriormente se realizó la ampliación del canal donde se construyó un nuevo juego de esclusas que permite el paso de buques de mayor dimensión.

- Esclusa de Cocoliso

Ilustración 5. Esclusa de Cocoliso



Fuente: Esclusa de mira flores - Presentación Universidad tecnológicas de Panamá

- Esclusa de Agua Clara

Ilustración 6. Esclusa de Agua Clara



Fuente: Fotógrafo, Luis García- La Prensa

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Flujo en canales abiertos:** De acuerdo a parámetros de profundidad, velocidad, área, etc. del flujo con respecto al tiempo y al espacio se puede clasificar el tipo en dos tipos flujo permanente o no permanente<sup>6</sup>.
- **Manga náutica:** Ancho de la embarcación.

Costa sur <http://charter.costasur.com/es/manga.html>

- **Profundidad hidráulica “D” o profundidad media “y”:** Es la relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre, m<sup>7</sup>.

$$D = \frac{A}{T}$$

- **Talud, z,** es la inclinación de las paredes de la sección transversal y corresponde a la distancia horizontal z recorrida desde un punto sobre la pared, para ascender la unidad de longitud a otro punto sobre la misma, generalmente se expresa 1: z<sup>8</sup>.
- **A: área mojada (wetted area):** Es el área de la sección transversal, tomada normal al sentido del flujo<sup>9</sup>.
- **Sedimento:** Las partículas procedentes de las rocas o suelos y que son acarreadas por el agua que escurren y por los vientos. Los materiales son depositados finalmente a lo largo de los propios cauces, lagunas, mares y en la parte baja de la cuenca, principalmente en la planicie<sup>10</sup>.

---

<sup>6</sup> RODRIGUEZ, Pedro. Hidráulica II, agosto 2008, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>>

<sup>7</sup> LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual de Hidraulica de Canales.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual%20de%20Hidraulica%20de%20Canales.pdf)>

<sup>8</sup> Ibíd.

<sup>9</sup> Elementos geométricos de la sección de un canal, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/libre/seccion.html>>

<sup>10</sup> GARCIA FLORES, MANUEL. MAZA ÁLVAREZ, JOSE ANTONIO. Origen y propiedades de los sedimentos, capítulo 7 del manual de ingeniería de ríos, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://eias.entalca.cl/isi/publicaciones/unam/origen\\_y\\_propiedades\\_de\\_los\\_sedimentos.pdf](http://eias.entalca.cl/isi/publicaciones/unam/origen_y_propiedades_de_los_sedimentos.pdf)>

- **Coeficiente de rugosidad de Manning:** Depende especialmente de la aspereza de la superficie pero no exclusivamente de esta. Se tienen en cuenta factores como curvas, vegetación, irregularidades y tirantes<sup>11</sup>.

## 2.3 MARCO LEGAL

### 2.3.1 Leyes aplicadas para el canal de Panamá.

#### LEY ORGANICA DE LA AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMA

##### Asamblea Legislativa

##### LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997):

Con la finalidad de que el canal de Panamá sea una empresa eficiente y rentable con ayuda a ley No 19 permite a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) llevar una organización, mejor funcionamiento, control de la administración y subadministración, control financiero y presupuestos, mantenimiento del canal, entre otros. **Artículo 120.** Administrar los recursos hídricos para el funcionamiento del canal y el abastecimiento de agua para consumo de las poblaciones aledañas<sup>12</sup>.

### Capítulo IV - Naves y Navegación

**Artículo 57.** La Autoridad reglamentará: Control de la navegación por el canal.

**Artículo 59.** La Autoridad podrá negar el ingreso al canal a cualquier nave que no cumpla los requisitos de seguridad de la navegación, contemplados en esta Ley y en los reglamentos<sup>13</sup>.

### 2.3.2 Leyes aplicadas para el canal de dique. Resolución 0249/04: Por la cual se establece a CORMAGDALENA definir y diseñar una alternativa de manejo

---

<sup>11</sup> ROCHA FELICES, Arturo. Hidraulica de tuberías y canales, <https://luisalderonf.files.wordpress.com/2012/01/hidraulica-de-tuberias-y-canales.pdf>

<sup>12</sup> ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997) Por la que se Organiza la Autoridad del Canal de Panamá [en línea]: [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2011/12/acp-law-s1.pdf>

<sup>13</sup> LEY ORGANICA DE LA AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMA ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997). "Por la que se organiza la autoridad del Canal de Panamá" en línea]: [citado 13 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: web <http://www.acp.gob.pa/esp/legal/law/chap4.html>>



sedimentológico del Canal del Dique., Bogotá, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004<sup>14</sup>.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE  
CARDIQUE RESOLUCION No. 0345 (Junio 5 del 2001)

**Decreto 1594 de 1984:** La preservación de la flora y la fauna en los ecosistemas acuáticos y terrestres debe hacerse conforme lo dicen los artículos 31, 45 y 49.

**Artículo 57:** Que el estudio de impacto ambiental de acuerdo con el artículo 57 de la precitada ley lo define como el conjunto de información que deberá presentar ante la Autoridad Ambiental competente el peticionario de una licencia ambiental<sup>15</sup>.

**LEY 161 DE 1994 (agosto 3) Diario Oficial No. 41.475, de 5 de agosto de 1994 Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones.**

**Artículo No 4** Cormagdalena estará investida de las facultades necesarias para la coordinación y supervisión del ordenamiento hidrológico y manejo integral del Río Magdalena. La Corporación coordinará, con sujeción a las normas superiores y a la política nacional sobre medio ambiente, las actividades de las demás corporaciones autónomas regionales encargadas por la ley de la gestión medio ambiente en la cuenca hidrográfica del Río Magdalena y sus afluentes, en relación con los aspectos que inciden en el comportamiento de la corriente del río, en especial, la reforestación, la contaminación de las aguas y las restricciones artificiales de caudales<sup>16</sup>.

## 2.4 ESTADO DEL ARTE

A partir del análisis de los parámetros tanto del canal de Panamá como el canal del Dique, se busca adquirir un mayor aprendizaje en la innovación de la ingeniería como se muestra en uno de los proyectos más importantes de ingeniería de la actualidad como lo es el canal de Panamá que muestra nuevos

---

<sup>14</sup> Scielo Colombiano [en línea]: [citado 15 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000155&pid=S0120-5609201300030000800007&lng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000155&pid=S0120-5609201300030000800007&lng=pt)>

<sup>15</sup> CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE CARDIQUE RESOLUCION No. 0345 (Junio 5 del 2001) [en línea]: [citado 15 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.acuacar.com/Portals/0/Resolucion0345Cardique\\_1.pdf](https://www.acuacar.com/Portals/0/Resolucion0345Cardique_1.pdf)>

<sup>16</sup> LEY 161 de 1994 (agosto 3) Diario Oficial No. 41.475, de 5 de agosto de 1994. Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena.



avances con el mejoramiento de su diseño para una mayor capacidad que permite el transporte de los buques de gran dimensión (Pospanamax) y buscar el mejoramiento del canal de Dique una de las principales vías fluviales de Colombia, el cual es un canal construido sin una mayor técnica; por lo cual ha presentado varios inconvenientes en el ecosistema y la población que habita la zona.

## 2.5 METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto de desarrolla en tres ítems como se muestra a continuación:

**1. Unidad I:** Evaluación, análisis y comparación entre el diseño del canal de panamá y el canal del dique:

En este ítem se recopilo la información de los componentes obtenidos en el canal de panamá y los datos encontrados sobre el canal del Dique que permiten realizar una comparación entre los parámetros de los dos canales:

### 2. Evaluación del Canal de Panamá:

A partir de la información recolectada en la visita técnica al canal de Panamá y complementada por medio de sitios web se muestra a continuación los componentes obtenidos:

## 2.6 RECOPIACIÓN INFORMACIÓN CANAL DE PANAMÁ

Tabla 1. Información Canal de Panamá

<b>Longitud</b>		77 km
<b>Longitud del océano atlántico al pacífico</b>	80 Km	
<b>Ancho</b>	91 a 300 m	
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón Masivo: <math>f'c=28</math> MPa</li> <li>• Hormigón Masivo: <math>f'c=35</math> MPa</li> <li>• Acero Grado 60 fy: 420 Mpa</li> </ul>	
<b>Profundidad en el atlántico</b>	12.8 m	
<b>Profundidad en el pacífico</b>	13.70 m	
<b>Taludes</b>	1:3	
<b>Caudal promedio</b>	181 m <sup>3</sup> /s	

Continuación tabla 1.

<b>pendiente<sup>17</sup></b>	La longitud media de los ríos de la vertiente del Caribe es de 56 Km con una pendiente media de 2.5% y en la vertiente del Pacífico la longitud media de los ríos es de 106 Km con una pendiente media de 2.27%
<b>- Pendiente<sup>18</sup></b>	pendientes mayores a 50%
<b>- Numero de Manning</b>	0.014 hormigón
<b>- Recubrimiento</b>	En Hormigón
<b>Lago Gatún</b>	425 Km <sup>2</sup>
<b>Esclusas Gemelas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miraflores</li> <li>• Gatún</li> <li>• Pedro Miguel</li> </ul>
<b>Nuevo juego de esclusas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cocolí</li> <li>• Agua Clara</li> </ul>
<b>Las esclusas del canal de Panamá,</b>	Levantán las naves 25,9 m (85 pies) hasta el punto más alto del canal en el lago Gatún y luego las hacen descender.
<b>Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá</b>	A= 3338 km <sup>2</sup>

Fuente: Varios

**2.6.1 Caudal.** Según la tabla que se muestra a continuación estos son los ríos que aportan a la cuenca del canal de Panamá para un caudal de 75.72 m<sup>3</sup>/s y según el informe del estado ambiental de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá realizado por la Comisión Internacional de la Cuenca Hidrográfica de Panamá (CICH) registra un caudal de 81.0 m<sup>3</sup>/s.

<sup>17</sup> ETESA, unimos a Panamá con energía, sitio [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.hidromet.com.pa/regimen\\_hidrologico.php](http://www.hidromet.com.pa/regimen_hidrologico.php)>

<sup>18</sup>Informe Final de la Región Occidental de la Cuenca del Canal, [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/rocc/02.pdf>>

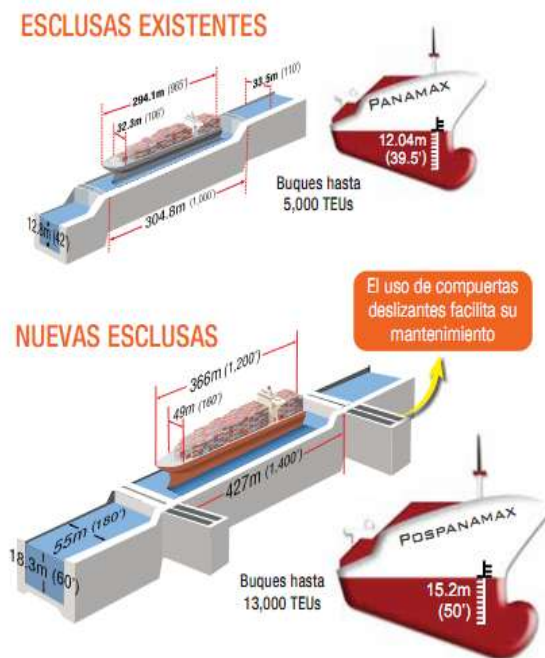
Tabla 2. Caudales Promedios Anuales (m3/s)

CUENCA	PERIODO	Q Promedio Anual m3/s	Desviación Estándar	Coficiente de variación %	Q Anual Mínimo	Q Anual Máximo	Qmin/ Qprom	Qmáx/ Qprom
Río Chagres en Chico	1934-2009	30.9	7.11	23	18.9	52.5	0.61	1.70
Río Pequerí en Candelaria	1934-2009	13.9	2.51	18	8.54	19.9	0.61	1.43
Río Boquerón en Peluca	1934-2009	7.67	1.61	21	4.20	13.1	0.55	1.71
Río Gatún en Ciento	1934-2009	6.79	1.54	23	3.46	11.6	0.51	1.71
Río Trinidad en El Chorro	1934-2009	6.82	1.86	27	2.63	10.9	0.39	1.60
Río Ciri Grande en Los Cañones	1934-2009	9.64	2.38	25	4.18	16.5	0.43	1.71

Fuente: Canal de Panamá, agua y bosques en la cuenca del canal [en línea]: [citado 15 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/Agua-y-Bosques.pdf>>

**2.6.2 Dimensiones de las esclusas.** El canal de Panamá, se diseñó para permitir el paso de naves del Pacífico al Atlántico o viceversa, sin embargo, naves de grandes dimensiones no podían transportarse por el canal. Adicionalmente la demanda de buques que necesitaban para pasar por el canal no se estaba cubriendo, por lo que fue necesaria su ampliación aumentando las dimensiones del nuevo juego de esclusas. A continuación, se muestran las dimensiones de las primeras esclusas y la del nuevo juego de esclusas del canal:

Ilustración 7. Dimensiones de las esclusas



Fuente: Componentes de la infraestructura del canal, [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://logistics.gatech.pa/es/assets/panama-canal/components>>

Las esclusas del antiguo canal de Panamá transportan buques Panamax y barcos con una capacidad de carga de 5.000 ton. Las dimensiones de estas cámaras son:

Tabla 3. Dimensiones de las esclusas antiguas

Ancho	33.50 m	110 pie
Largo	304.8 m	1000 pie
Profundidad	12.80 m	42 pie

Fuente: Visita Técnica Internacional a Panamá

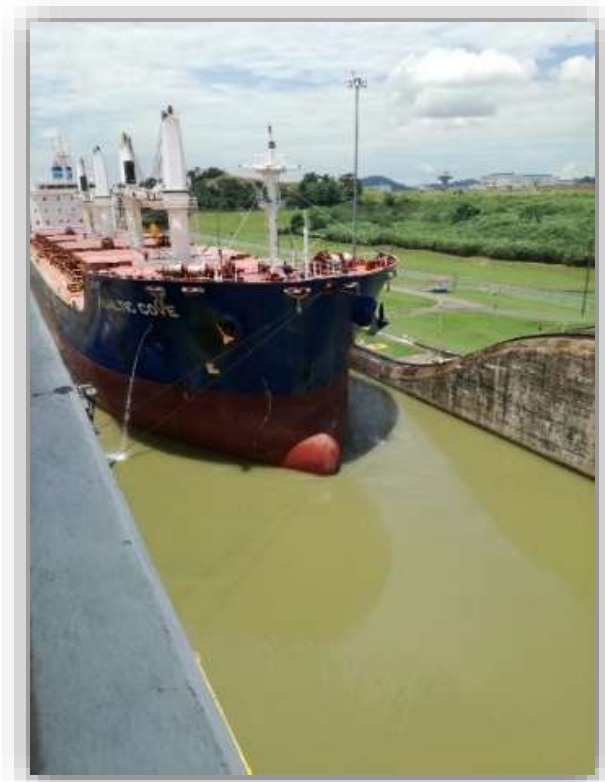
Las dimensiones máximas de un buque Panamax se muestran a continuación:

Tabla 4. Dimensiones de buque Panamax

Ancho	32.30 m	106 pie
Largo	294.1 m	965 pie
calado	12.04 m	39.5 pie

Fuente: Visita Técnica Internacional a Panamá

Ilustración 8. Buques Panamax



Fuente: Esclusa de Miraflores- Autor

El nuevo juego de esclusas (Cocoli y Agua Clara) permiten el transitar buques de mayor capacidad de carga es decir hasta 13.000 ton. Estas cámaras tienen las siguientes dimensiones:

Tabla 5 Dimensiones del nuevo juego de esclusas

Ancho	55.0 m	180 pie
Largo	427.0 m	1400 pie
Profundidad	18.30 m	60 pie

Fuente: Visita Técnica Internacional a Panamá

Las dimensiones máximas que las naves que pueden transportar el nuevo juego de canal panamá son los buques Pospanamax que tienen las siguientes dimensiones:

Tabla 6. Dimensiones del Pospanamax

Ancho	49.0 m	160 pie
Largo	366.0 m	1200 pie
calado	15.20 m	50 pie

Fuente: Visita Técnica Internacional a Panamá

#### Ilustración 9. Buques Pospanamax



Fuente. Esclusa de Cocoli –Autor

**2.6.3 Sección transversal.** Las cámaras del nuevo juego de esclusas cuentan con un largo de 427 m de lago, 55.0 m de ancho y 18.30 m de profundidad que permite el paso de naves Pospanamax. Adicionalmente cuenta con tres tinas por cada cámara que permiten la reutilización del agua.

Ilustración 10. Sección transversal del nuevo juego de esclusas



Fuente: Panama Marketing, [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://panamarealestatemarketing.com/el-canal-de-panama/mapa-y-tercer-juego-de-esclusas-diagrama/>>

**2.6.4 Navegación.** Por la zona más estrecha de Panamá, se permite el paso de buques, esto con el fin de acortar caminos, disminuir costos y aumentar ganancias. Para una mayor seguridad de las naves se dirige por remolcadores los cuales ayudan a asistir a los buques durante su travesía por el canal. Principalmente en la entrada y salida de las esclusas y durante el paso por el Coral Culebra. En el caso de naves de gran tamaño se utilizan dos remolcadores en cada lado y otros dos al frente y dos atrás para un total de ocho remolcadores, esto para tener un mayor control de la nave.

Una vez los buques acceden a las esclusas por las compuertas, un operador de la caseta de control cierra las compuertas y se abren las válvulas que controlan el flujo de agua. El proceso de llenado de la cámara dura 8 minutos para nivelar el barco. Donde adicionalmente son ayudados por las locomotoras eléctricas que van a los lados, sobre los muros de las esclusas, por medio de cables de acero para ayudar a los buques a mantenerse en el centro de las estructuras y así evitar que choquen contra las paredes de las cámaras.

Estas se desplazan sobre rieles en la parte superior de las paredes de las cámaras. El canal cuenta con 100 locomotoras con una capacidad máxima de remolque es de 311.8 kilonewtons a 4.8 kilómetros por hora, cuenta con 290 caballos de fuerza, un peso de 43 ton, puede llegar a una velocidad de 16 kilómetros sin carga.

Con la ampliación del canal permitiendo el paso de buques Pospanamax que permite aumentar la demanda del tránsito del canal.

**2.6.5 Sedimentos.** Según informe del programa de sedimentos suspendidos del periodo 1998 periodo 1998-2007, realizado por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) departamento de ambiente, agua y energía división de agua sección de recursos hídricos unidad de hidrología operativa, muestra que el lago Gatún del cual se suministra las esclusas para la nivelación de las cámaras; donde maneja un caudal de sedimentos suspendidos de 441133 (t/año), producción promedio de sedimentos suspendidos de 235 (t/año/km<sup>2</sup>) y una producción promedio de sedimentos totales de 270 (t/año/km<sup>2</sup>).

Para la cuenca hidrográfica del canal de panamá (CHCP) maneja un promedio de sedimentos suspendidos de 341 (t/año/km<sup>2</sup>) y una producción promedio de sedimentos totales de 392 (t/año/km<sup>2</sup>)<sup>19</sup>.

**2.6.6 Evaluación del Canal de Dique.** A continuación, se muestra la información recolectada del canal del Dique mediante sitios web y el fondo de adaptación:

### 1. Recopilación información canal de Dique

Tabla 7. Información Canal del Dique

<b>Longitud (1)</b>	115 Km desde Calarca y su desembocadura en la bahía de Cartagena
<b>Ancho (2)</b>	80 a 90 m
<b>Profundidad (2)</b>	Entre 3.0 a 10.0 m
<b>Profundidad Min (1)</b>	2.50 m
<b>Taludes de los costados (3)</b>	2:1

<sup>19</sup> Informe del Programa de Sedimentos Suspendidos Periodo 1998-2007, [en línea]: [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/1998-2007-sedimentos-suspendidos.pdf>>

Continuación tabla 7.

<b>Caudales medio</b> (2)	540 m <sup>3</sup> /s
<b>Pendiente</b> (4)	Estas se presentan principalmente en la margen derecha del Canal del Dique y siendo las más representativas las que se encuentran en cercanías del municipio de Soplaviento, que tienen un relieve plano ondulado con pendiente entre 3% y 5% alcanzando alturas de 10 a 25 metros producto de la disección intensa de gravas y arenas. <sup>13</sup>
<b>Número de Manning</b>	0.022
<b>Recubrimiento</b>	No tiene ningún recubrimiento por ser un canal excavado
<b>Área de la cuenca</b> (2)	4.400 km <sup>2</sup>

Fuente: Varios

## 2. Características generales del Canal del Dique

A continuación, se muestran una serie de características del canal desde después del dragado de 1923 hasta 1982.

Tabla 8. Características generales del Canal del Dique

Características	Después del dragado 1923-1930 (The Foundation Co.)	1941 (G.M. Totten)	1951 (Standard Dredging)	1982 (Sanz Cobe Layne Dredging)
Longitud del canal	127 Kms.	117 Kms.	115 Kms.	115 Kms.
Trayecto de recta	75 Kms.	79 Kms.	82 Kms.	
Número de curvas	270	113	93	50
Radio mínimo de curvatura	191 metros.	350 metros	500 metros	1.000 metros
Tangente mínima entre curvas inversas	4 metros	101 metros	150 metros	
Ancho del canal en el fondo	35 metros	45 metros	45 metros	65 metros
Taludes de los costados	15:1	2:1	2:1	2:1
Profundidad mínima	2.14 metros	2,40 metros	2,40 metros	2,50 metros
Anchura mínima en la superficie del agua con 2,4 metros de profundidad	41.4 metros	56 metros	53 metros	75 metros
Volumenes dragados	10.800.000 m <sup>3</sup>	1.900.000 m <sup>3</sup>	9.300.000 m <sup>3</sup>	18.800.000 m <sup>3</sup>
Costo de las obras			\$6.2 millones	\$3.051 millones

Fuente: Presidencia de la República, Canal del Dique, Bogotá, [en línea] Bogotá, D.C.: [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/canal+del+dique/15d7aea889bf73d7?project=1>>



### 3. Coeficiente de Rugosidad n

Según la tabla que se ilustra a continuación donde se realizó un análisis de los caudales observados con los simulacros hidráulicos efectuados se puede determinar el coeficiente de rugosidad n del Canal del Dique de 0.022.

Tabla 9. Coeficiente de Rugosidad n

Tramo	Caudal derivado				Coeficiente de Rugosidad n	Pendiente de energía
	Observado	Simulado	Observado	Simulado		
	(m <sup>3</sup> /s)		(%)			
Entrada	9540	9757,85	100%	102.3%	0,031	0,00009
Brazo Izq Becerra	2480	2386,56	26%	25.0%	0,029	0,00007
Brazo Der Becerra	7060	7371,35	74%	77.3%	0,030	0,00004
Brazo Inter islas	1336	1408,60	14%	14.8%	0,028	0,00007
Brazo Der Loca	5724	5962,77	60%	62.5%	0,023	0,00007
Brazo Izq Loca arriba	3816	3793,61	40%	39.8%	0,028	0,00006
Brazo Izq Loca abajo	3148	3127,20	33%	32.8%	0,025	0,00006
Salida	8872	9089,98	93%	95.3%	0,030	0,00009
Canal del Dique	668	668,00	7%	7.0%	0,022	0,00005

Fuente: Modelación hidráulica, Ana Carolina Rocha, [en línea]: [citado 6 enero, 2009]. Disponible en Internet: <URL 2008<http://www.bdigital.unal.edu.co/14899/1/9288-15811-1-PB.pdf>>

### 4. Navegación

El canal del dique se realizó con el fin de tener una vía navegable que permitiera transportar los productos desde el interior del país hacia la zona del atlántico. Actualmente principalmente se movilizan embarcaciones que transportan combustibles, derivados del petróleo, carbono y en una menor medida embarcaciones que transportan carga en general. Adicionalmente el canal es utilizado para la navegación doméstica, donde se presta para transportar pasajeros, cargas menores y actividades de pesca.

En el transcurso del tiempo el canal del Dique ha presentado mejoras; sin embargo, no ha sido suficiente para aumentar su navegación. En 1961 la movilización por el canal representaba el 15% del tonelaje que se transportaba por todos los medios del país. Hoy en día la carga movilizada en Colombia por vía fluvial solo representa un 3%. Este porcentaje se debe a la baja capacidad que tienen las vías fluviales y las condiciones presentadas cuando se disminuye el nivel de flujo en diferentes épocas del año.

Para la navegación segura se recomienda operar con calados hasta de 9 pies, pero en época de estiaje es recomendable manejar calados entre 6 y 7 pies. A continuación se muestra las secciones mínimas requeridas para poder navegar en el canal del dique (5):

Tabla 10. Sección mínima requerida para navegación en el Canal del Dique

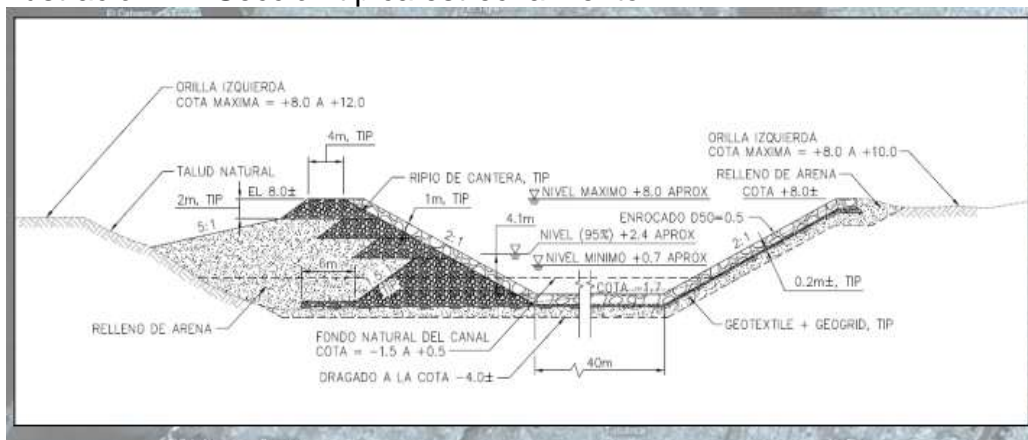
Sector	Abscisa	Ancho (m)	Profundidad (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)		Calado (pies)
				Aguas Altas	Aguas Medias	
Santa Lucía	K0 + 0 a K25 + 0	97 - 99	5.2 - 5.7	-	-	9 a 12
Soplaviento	K25 + 0 a K35 + 0	133 - 134	5.2 - 5.7	1067	493	9 a 12
Mahates	K35 + 0 a K50 + 0	104 - 107	5.2 - 5.7	915	435	9 a 12
Gambote	K50 + 0 a K65 + 0	92 - 96	5.2 - 5.7	665	462	9 a 12
Santa Helena	K65 + 0 a K85 + 0	94 - 114	7.5 - 8.0	720	492	9 a 12
Costa Rica	K85 + 0 a K100 + 0	89 - 90	5.0 - 5.5	586	364	9 a 12
El Recreo	K100 + 0 a K105 + 0	93 - 95	3.0 - 4.5	352	217	6 a 9
Pasacaballo	K105 + 0 a K116 + 0	92 - 93	3.0 - 4.0	273	171	6 a 9

Fuente: Cardique, 2005. UN-LEH, 2006

A partir de la baja navegación y ola invernal se diseñaron tres secciones del canal y dos esclusas para disminuir el caudal, buscar el mejoramiento de la navegación, mitigar el impacto de la afectación de los habitantes de la zona producida por la inundaciones, control de sedimentos y de inundaciones. (6)

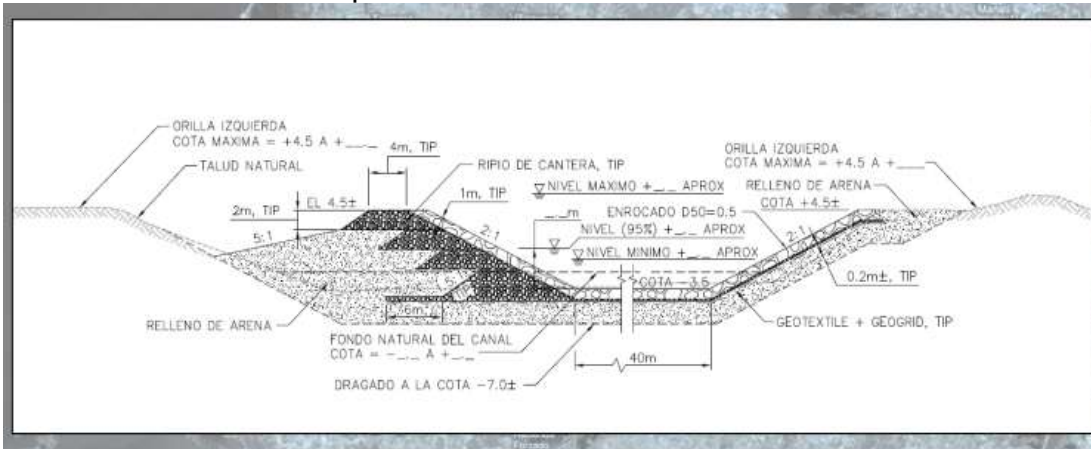
Las tres secciones típicas de estrechamiento que cuenta con un ancho de 40.0 m que permitirá reducir la entrada de agua sin reducir el nivel a lo largo del canal.

Ilustración 11. Sección típica estrechamiento 1



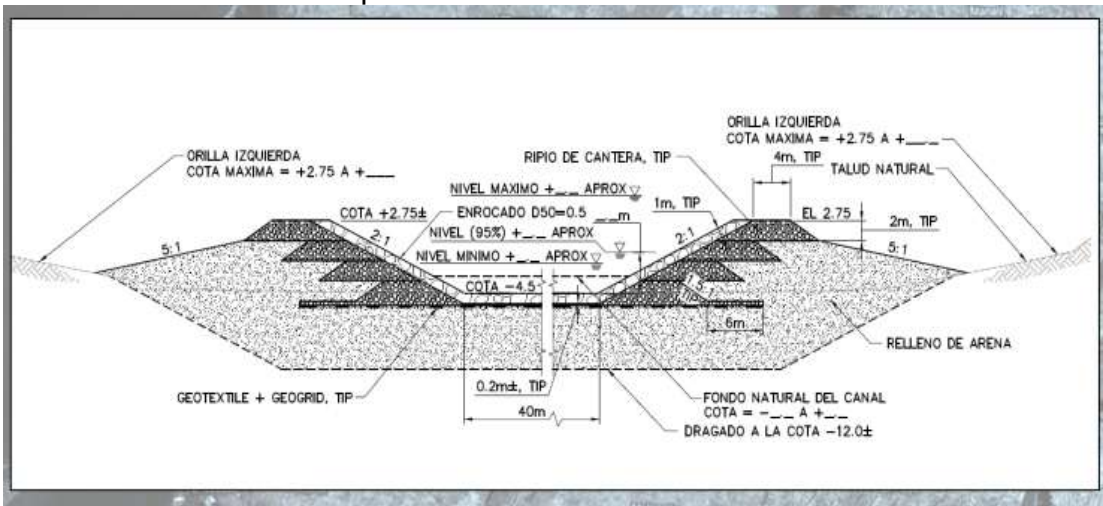
Fuente: Foro "Reflexiones sobre el Canal del Dique: causas y efectos de la Ola Invernal"

Ilustración 12. Sección típica estrechamiento 2



Fuente: Foro “Reflexiones sobre el Canal del Dique: causas y efectos de la Ola Invernal”

Ilustración 13. Sección típica estrechamiento 3



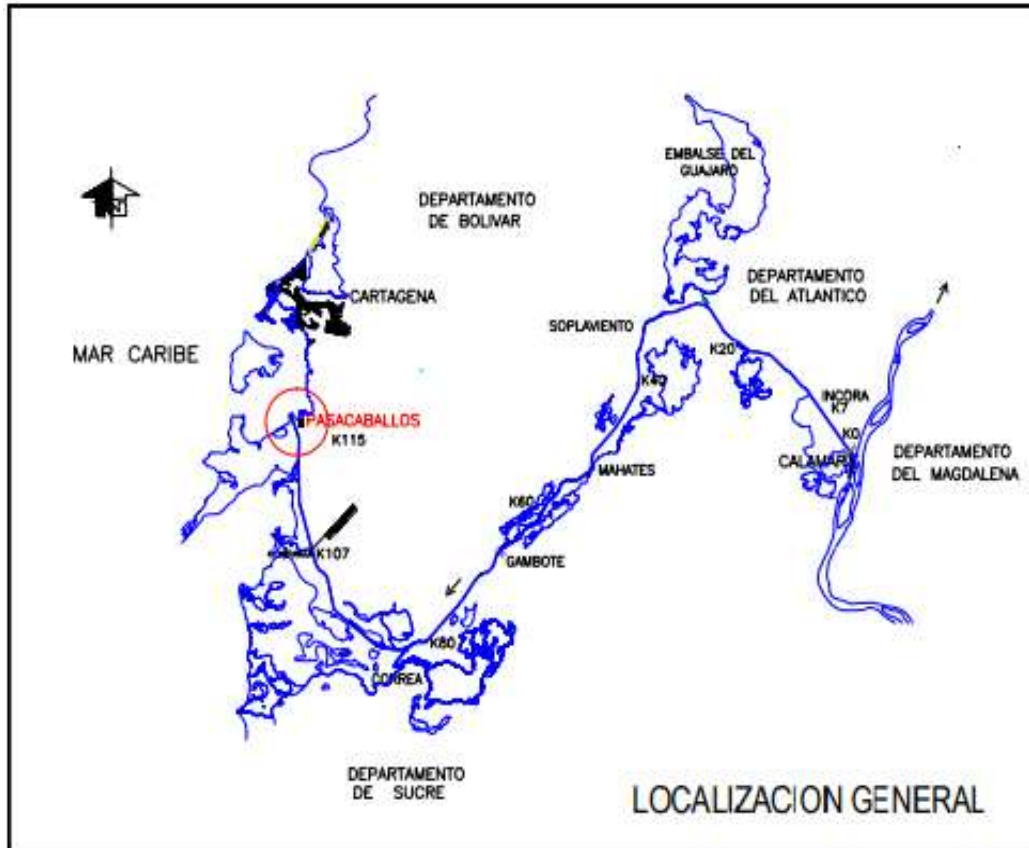
Fuente: Foro “Reflexiones sobre el Canal del Dique: causas y efectos de la Ola Invernal”

## 5. Secciones Transversales

Según el levantamiento de batimetría del río Magdalena del canal del Dique realizado por Cormagdalena muestra a continuación las secciones trasversales a través de del canal.

- **Sector: pasacaballos-bahía de Cartagena**

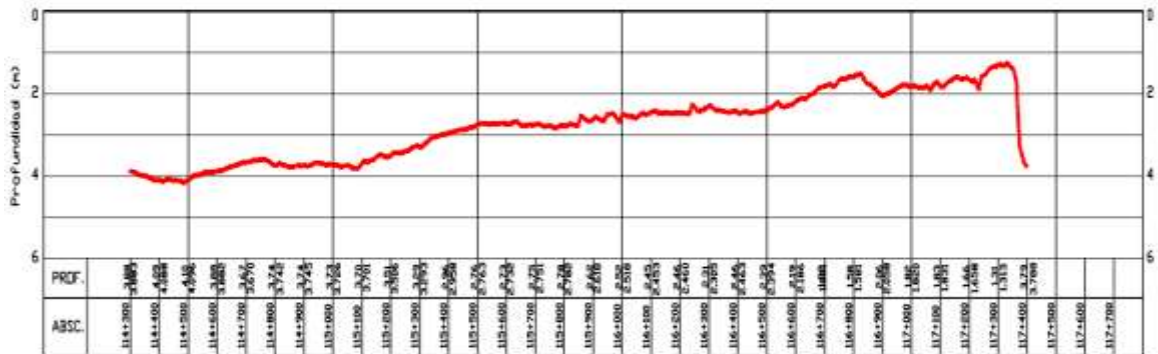
Ilustración 14. Localización del sector pasacaballos



Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico río Magdalena, 13 de enero de 2015, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/index.jsp?sector=4>

Como se muestra a continuación la zona con mayor y menor profundidad entre las abscisas 114+300 a 117+500. La sección entre la abscisa 117+300 y 117+400 registra las profundidades más bajas de 2.30 m y entre la abscisa 114+400 y 114+500 se encuentran las profundidades más altas 4.20 m.

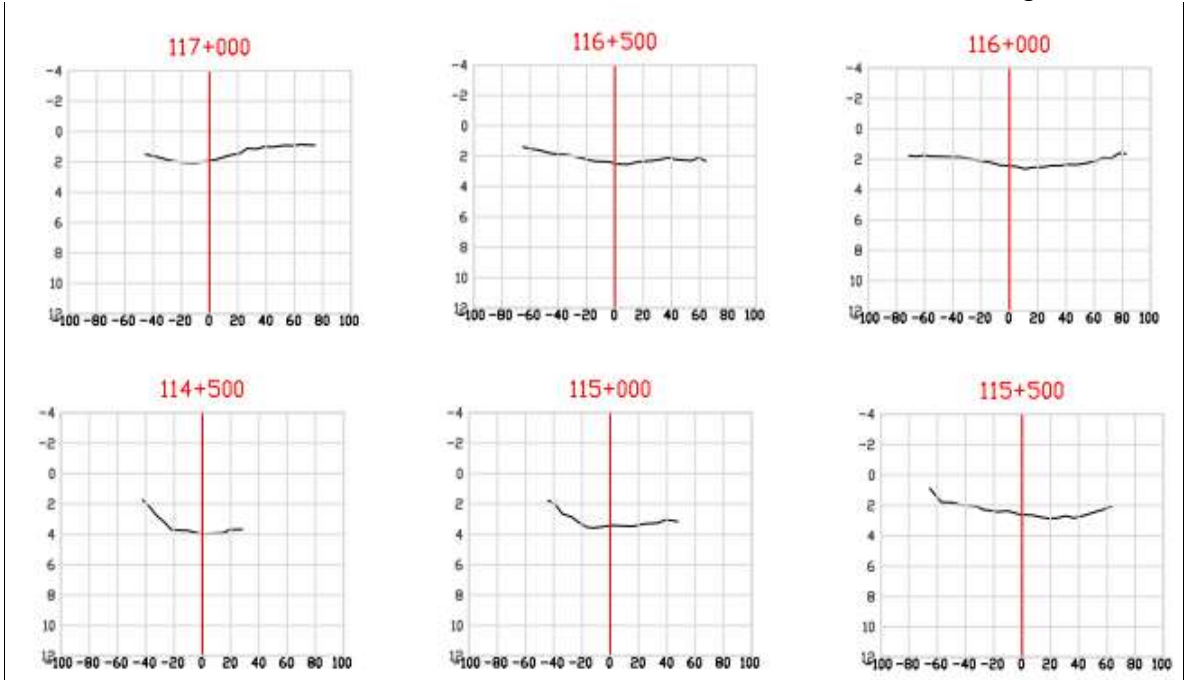
Ilustración 15. Perfil longitudinal por el eje del sector pasacaballos



Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico rio Magdalena, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/indes.jsp?sector=4>

Según las secciones transversales del tramo correspondiente al sector Pasacaballos – Bahía de Cartagena muestra elevaciones entre 0.5 a 4.0 m.

Ilustración 16. Secciones Transversales Pasacaballos – Bahía de Cartagena

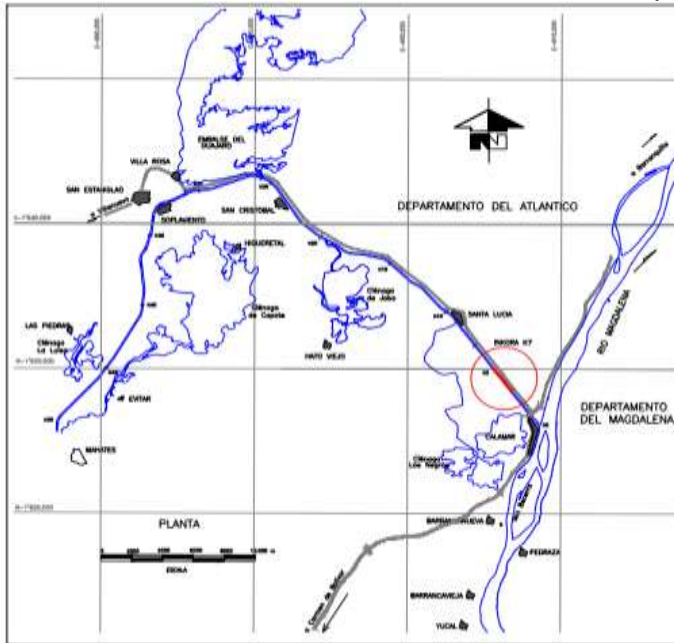


Fuente: Cormagdalena, levantamiento batimétrico rio Magdalen, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/indes.jsp?sector=4>



- **Canal de Dique K3+000-K5+000**

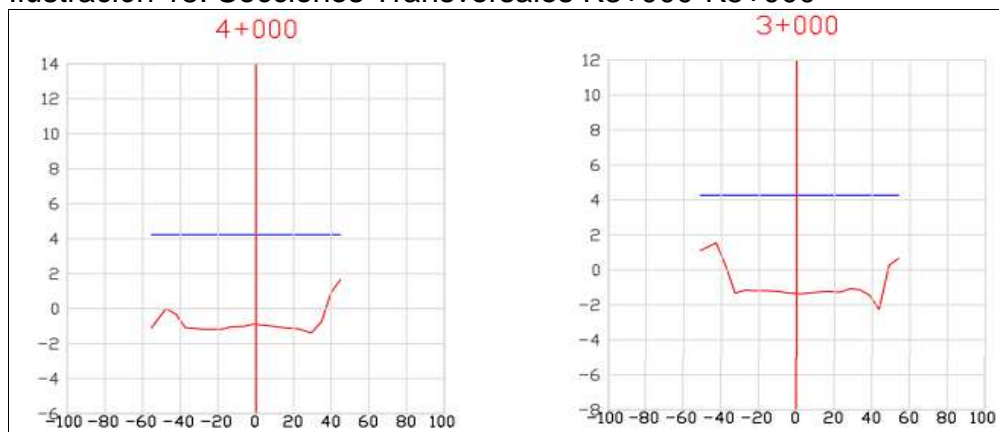
Ilustración 17. Localización tramo canal de Dique K3+000 - K5+000



Fuente: cormagdalen, levantamiento batimétrico rio Magdalen, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalen.gov.co/idehacor/index.jsp?sector=4>

Según las secciones transversales del tramo correspondiente al sector Canal de Dique K3+000-K5+000, muestra elevaciones entre -2.20 y 1.80 m. Estas cotas son arbitrarias

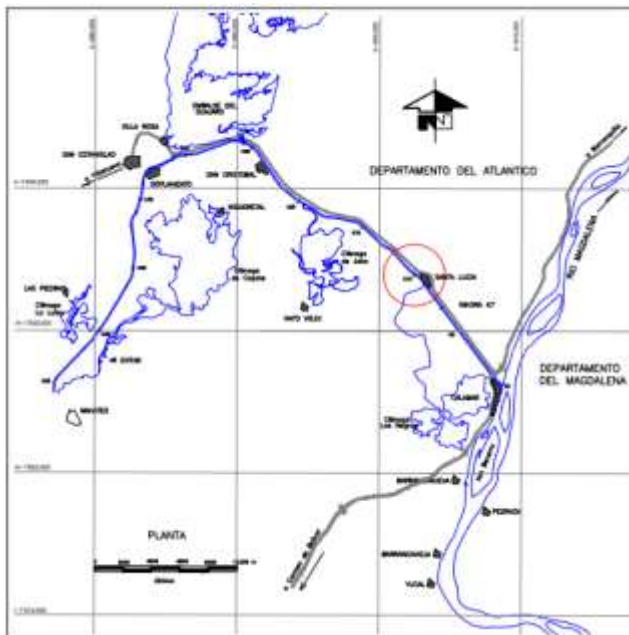
Ilustración 18. Secciones Transversales K3+000-K5+000



Fuente: cormagdalen, levantamiento batimétrico río Magdalen, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalen.gov.co/idehacor/index.jsp?sector=4>

- **Sección canal de Dique Santa Lucia**

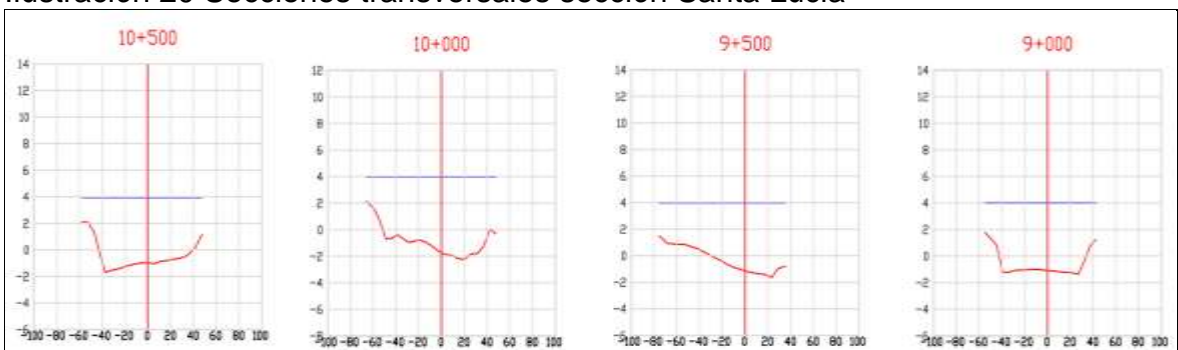
Ilustración 19. Localización del sector del Dique Santa Lucia



Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico río Magdalena, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/index.jsp?sector=4>

Según las secciones transversales del tramo correspondiente al sector Canal de Dique Santa Lucia, se muestran elevaciones entre  $-1.80$  y  $2.10$  m. Estas cotas son arbitrarias

Ilustración 20 Secciones transversales sección Santa Lucia



Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico río Magdalena, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/index.jsp?sector=4>

- **Sección Canal del Dique Las Compuertas**

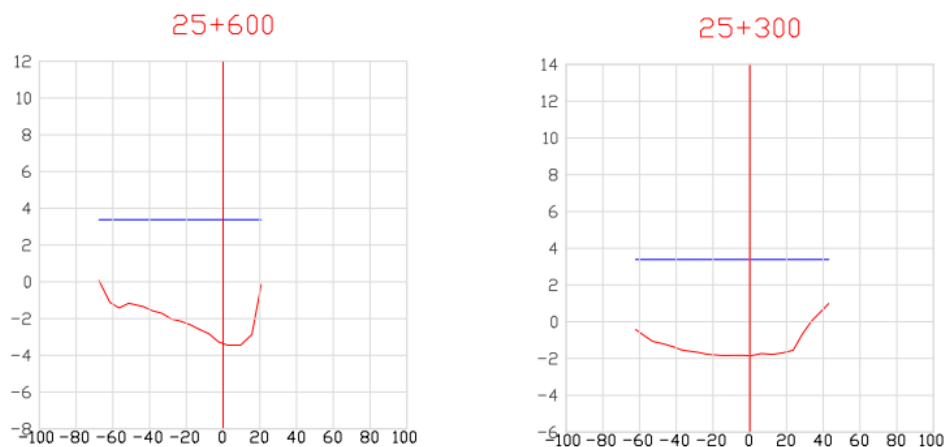
Ilustración 21. Localización del sector de las compuertas



Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico río Magdalena, 13 de enero de 2015, <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/indes.jsp?sector=4>

Según las secciones transversales del tramo correspondiente al sector Canal de Dique Santa Lucía, se muestran elevaciones entre  $-3.50$  y  $1.0$  m. Estas cotas son arbitrarias

Ilustración 22. Secciones transversales Canal del Dique las compuestas

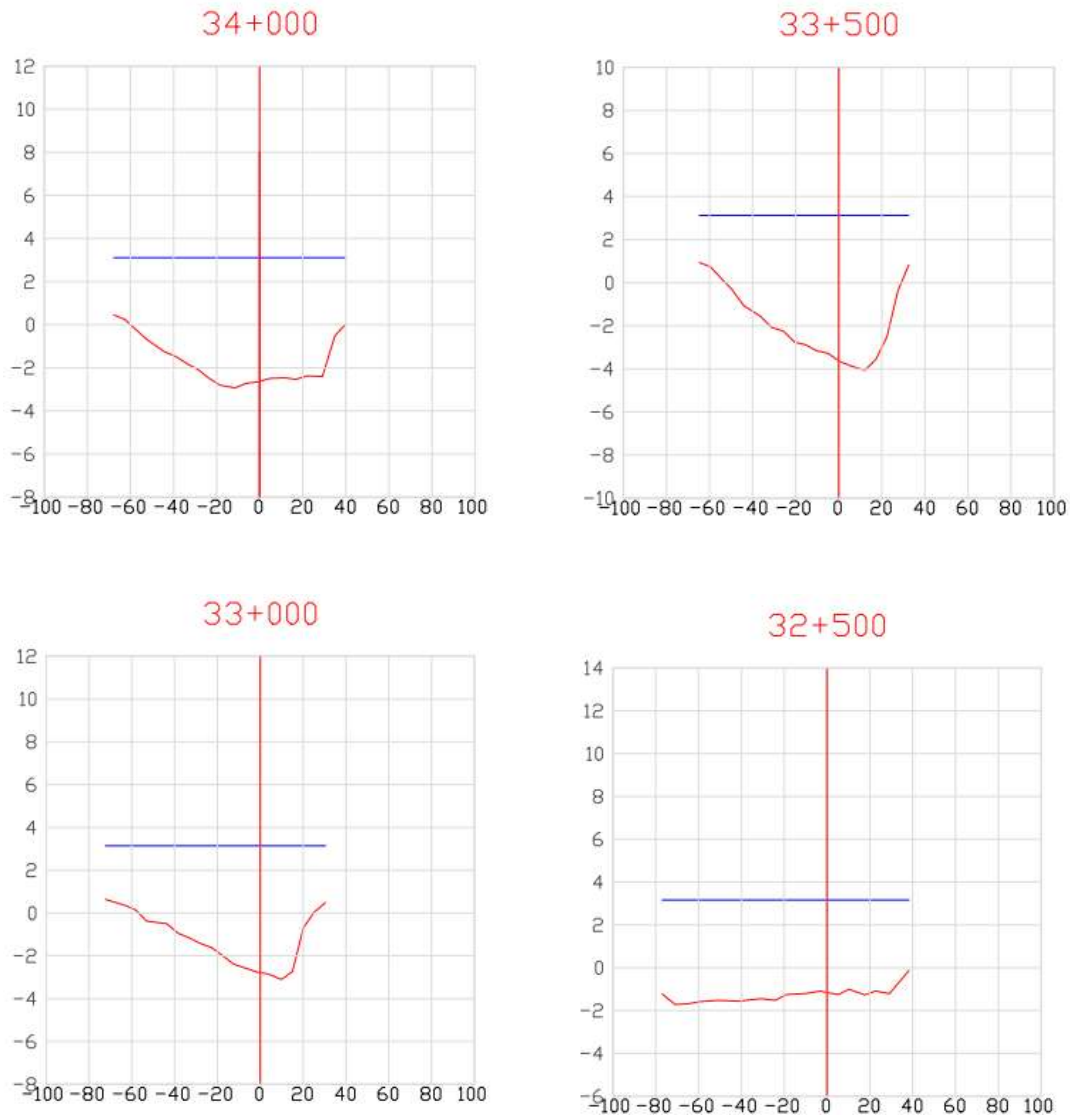






Según las secciones transversales del tramo correspondiente al sector Canal de Dique Santa Lucía, se muestran elevaciones entre  $-4.0$  y  $1.0$  m. Estas cotas son arbitrarias

Ilustración 24. Secciones transversales sección Soplaviento

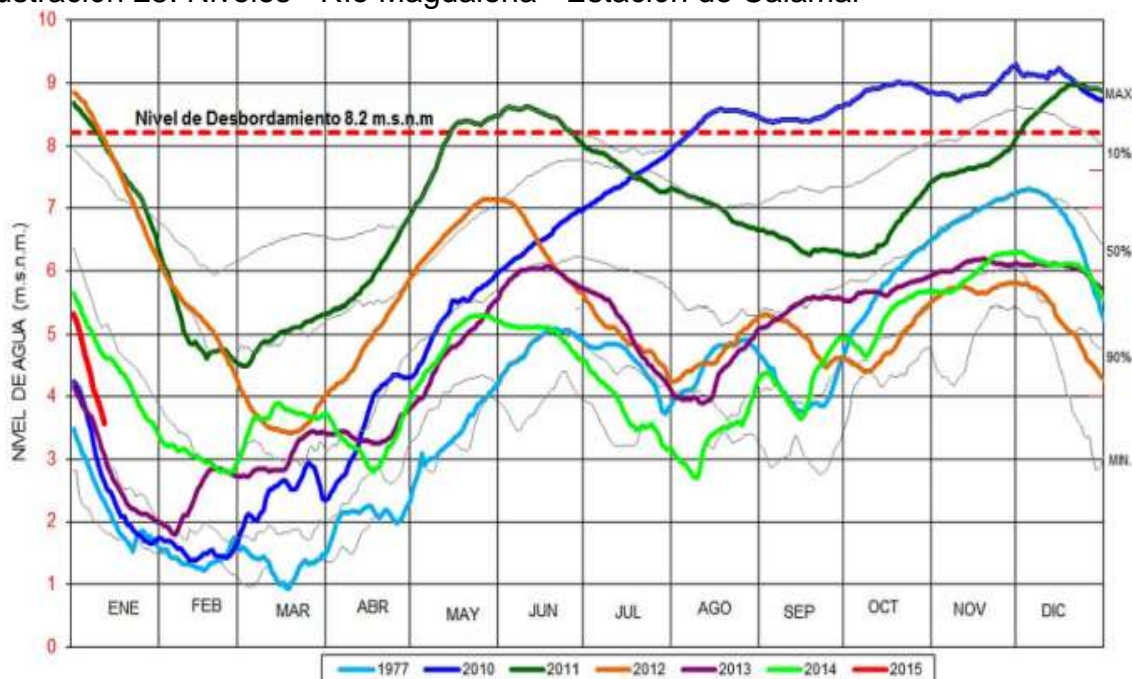


Fuente: cormagdalena, levantamiento batimétrico río Magdalena, 13 de enero de 2015, [en línea]: [citado 6 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL <http://www.cormagdalena.gov.co/idehacor/indes.jsp?sector=4>>

## 6. Niveles

Como se observa a continuación los niveles de agua alcanzaron su nivel máximo de 9.2 m.s.n.m entre los meses de noviembre y diciembre del año 2010 pasando el nivel de desbordamiento considerado en 8.2 m.s.n.m. esto coincide con el fenómeno del niño ocurrido en este periodo afectando las poblaciones de la ciénaga. Adicionalmente el nivel más bajo de este tramo ocurrió en marzo de 1977 con un nivel de 0.9 m.s.n.m.

Ilustración 25. Niveles - Río Magdalena - Estación de Calamar



Fuente: IDEAM, Estación de calamar, Niveles de 1977 a 2015.

## 7. Sedimentos

Según el estudio de balance hídrico y sedimentológico del canal del Dique y sus efectos sobre la sedimentación de la bahía de Cartagena muestra la distribución de sedimento totales a lo largo del canal del Dique donde se inicia con un 13.1 millones de ton/ año de sedimentos y desembocando 2.0' millones de ton/año en la bahía de Cartagena como se muestra a continuación:

Ilustración 26. Balance sedimentológico actual en la zona del Canal del Dique



Fuente: balance hídrico y sedimentológico del canal del Dique y sus efectos sobre la sedimentación de la bahía de Cartagena

Dado lo anterior las profundidades del Canal del Dique permiten la navegación durante todo el año incluso en épocas de sequía sin embargo con algunas restricciones de del calado. Es de destacar que el porcentaje del 15% de los sedimentos que se llega a depositar en a la bahía de Cartagena y Barbacoa es muy alto, se generan problemas de navegación y destruyendo el ecosistema marino de la bahía.

## 2.7 MONTAJES Y CARACTERÍSTICAS DE UN PROYECTO HIDRÁULICO

**2.7.1 Montaje: Constructivo del canal de Panamá.** Los primeros intentos de construir el canal de Panamá fueron por una empresa francesa pero no tuvo mayor éxito dado que tuvieron varios inconvenientes, desde el uso de la maquinaria que no era muy grande y liviana, adicionalmente no contaban con un buen sistema de desechos del material excavado ya que eran depositados cerca de las excavaciones y en tiempo de lluvias el material volvía a depositarse en la cuenca. También tenían problemas de derrumbes y deslizamientos.

Durante la administración de los franceses tuvieron alrededor de 20.000 víctimas debido a la malaria y fiebre amarilla. Por lo anterior y dado los problemas que tuvieron cambio la administración y el proyecto fué tomado por los estadounidenses.

Bajo el control de Estados Unidos, se trajeron equipos de excavación más pesados, se utilizaron el ferrocarril para transportar el material excavado adicionalmente se logró controlar la fiebre amarilla disminuyendo las victimas durante la construcción.

Para la construcción de las esclusas de Gatún, Pedro Miguel y Miraflores se utilizó 3'344.000 m<sup>3</sup> de hormigón donde la esclusa de Gatún cuenta con tres niveles, Miraflores con dos niveles y Pedro Miguel con un nivel. Para la construcción de las esclusas se llevaron 4 años.

Las esclusas con utilizan bombas; sino que funcionan por gravedad, donde se llena con agua dulce proveniente del lago artificial Gatún, por cada cámara sale o entra agua que pasan por unas válvulas que se abren o cierran y a través de unos túneles gigantes o alcantarillas.

Las compuertas se mueven como puertas dobles. “La construcción hueca e impermeable de las mitades inferiores las hace flotar en el agua, reduciendo grandemente el trabajo de las bisagras. Todas las hojas de las compuertas miden 64 pies de ancho por 7 pies de grosor. Sin embargo, varían en altura de 47 a 82 pies, dependiendo de su ubicación”. (7)

Adicionalmente se diseñaron locomotoras que permiten el arrastre de los buques por las esclusas.

Durante el transcurso de la construcción del canal de Panamá, los panameños adquirían mayor participación del canal al punto de tener cargo importante del canal de Panamá.

Dado el aumento de buques que necesitaban pasar por el canal y poder permitir el paso de buques de mayor capacidad y mayor tamaño “Pospanamax”, se realizó la ampliación del canal. La ampliación del canal de Panamá se construyeron don nuevos complejos de esclusas una en el pacifico con el nombre de Cocolí y otra en el Atlántico con el nombre de Agua Clara, se profundizó y se ensacharon los causes existentes y se generó un nuevo cauce de ascenso que une la nueva esclusa con el corte culebra.

Para la construcción de canal de Panamá se retiraron 62 millones de m<sup>3</sup> extraídos del movimiento de tierras el cual se depositó en un campo de tiro y en distintos puntos, se necesitaron 4,5 millones de m<sup>3</sup> de hormigón estructural vertido y 220.000 toneladas de armadura de acero empleado, los muros de aproximación y de las esclusas están protegidas por defensas. Adicionalmente cada cámara cuenta con tres tinajas que permiten reutilizar el agua que hace posible el uso de 7% menos de agua que el sistema de esclusas original. (8)

Se instalaron 16 compuertas de 4.23 ton, fabricadas en Italia. Las compuertas de las nuevas esclusas son corredoras, es decir, se mueven en forma perpendicular a las cámaras.

**2.7.2 Montaje: Constructivo del canal de Dique.** Su construcción ha resultado en gran medida de trabajos empíricos con ayuda de más de 200 hombres con hachas, picos y palas. Este canal comunicando del río Magdalena desde el municipio de Calamar con las ciénagas de agua dulce para desembocar en la bahía de Cartagena. El canal permitió le permitió a la región la comunicación con el interior del país. (9)

Este es un canal pre-excavado, por lo cual presenta problemas de sedimentos e inundaciones. Por eso hoy en día se recubren los bordes del canal con colchacreto mitigar la erosión en la zona y se diseñaron dos esclusas con compuertas de control, permitir el paso para navegar y el paso de peses. Adicionalmente bajar el caudal de las aguas y de la sedimentación; así disminuir la afectación en los ecosistemas. (10)

Ilustración 27. Esclusa de Calamar



Fuente: Fondo de Adaptación



**2.7.3 Características del proyecto hidráulico del canal de Panamá.** Un proyecto hidráulico como lo es el canal de Panamá permitió dar un gran aporte a la innovación y a la ingeniería, permitiendo avanzar en infraestructuras vez más modernas. A continuación, se muestran uno sus principales componentes que hacen del Canal de Panamá una de las invenciones más grandes:

Tabla 11. Características del proyecto hidráulico del Canal de Panamá

Componentes	Descripciones
Compuertas	<p>Una de las cosas que más llaman la atención del canal de Panamá, son sus compuertas. Las compuertas de las primeras esclusas son compuertas abisagradas que se mueven como puertas dobles, cuentan con una altura que varía entre 14,33 y 24,99 m (47 a 82 pies) y todas las hojas de las compuertas miden 64 pies de ancho por 7 pies de grosor.</p> <p>Las compuertas de la nuevo juego de esclusas miden miden 57.60 metros de largo y entre 8 y 10 metros de ancho. Se mueven a través de por un sistema de cables conectados en la parte superior y rieles en la parte inferior.</p>

Ilustración 28. Compuertas del canal de Mira Flores



Fuente: Autor

Continuación tabla 12.

Válvulas	<p>Estas válvulas tienen la función de permitir el paso del agua suministrada por el lago artificial Gatún que atraviesa entre los diferentes elementos de las esclusas. Las válvulas permiten la entrada o salida del agua a las cámaras por hoyos que cuenta cámara. El proyecto cuenta con 152 válvulas con un peso de 30 toneladas las válvulas; 64 de estas válvulas son para los conductos principales, 16 para equilibrar el nivel de agua entre compuertas y 72 para el paso de agua a las tinas laterales de ahorro de agua.</p> <p>Para el llenado, se cierran las válvulas en la parte inferior de la cámara mientras se abren las que se encuentran en la parte superior y para la extracción del agua se invierte el proceso.</p>
Tinas	<p>Para el nuevo juego de esclusas se construyeron 18 tinas, tres tinas por cada cámara de 70 m de ancho por 5.50 m de profundidad. El agua transferida por gravedad que pasa de las tinas a las cámaras y viceversa permite reutilizar el agua para el próximo esclusaje ahorrando hasta un 60% de las aguas reutilizadas.</p>

Fuente: Fondo de Adaptación

#### 2.7.4 Características del proyecto hidráulico del Dique.

Tabla 12. Características del proyecto hidráulico del Canal del Dique

Componente	Descripción
Diseño de las esclusas y compuertas. (10)	<p>Como plan de recuperación del canal del dique donde se realizará la construcción de dos esclusas (una en Calamar y la otra en Puerto Badel, Arjona) y sus compuertas, la alimentación de aguas de ciénagas en torno al canal.</p> <p>En Calamar estará una esclusa que tendrá el objetivo de bajar el caudal de las aguas y de la sedimentación, quiere decir esto que se reducirán de 550 a 250 metros cúbicos de agua por segundo.</p> <p>Las esclusas están diseñadas para un convoy de 3 x 2 barcas (2 barcas en manga y 3 de largo, 6 en total), y tendrán 250 metros de largo y 33,5 metros de ancho.</p>



Continuación tabla 13.	
Colchacreto	<p>Dada las inundaciones del 2010 y 2011 perjudicando a las comunidades aledañas al canal del dique como lo es el municipio de Santa Lucia, se ha venido construyendo el colchacreto, que es una formaleta textil diseñada para ser llenada con concreto hidráulico de agregado fino para emplear ser empleado como obras de protección y mitigar la erosión en la zona.</p> <p>Donde primero se realizó una limpieza de la zona y perfilado del terreno, después se ejecutó una excavación se incorpora la primer capa de geotextil rellenar con el concreto hidráulico y finalmente colocarles la segunda capa de colchacreto.</p>
Fuente: Fondo de Adaptación	

## 2.8 IMPACTOS AMBIENTALES

**2.8.1 Impacto del canal de Panamá.** Desde la construcción del nuevo juego de esclusas de la ampliación del canal de Panamá, se tuvo un mayor control del impacto ambiental mediante la mitigación establecida en el plan de manejo ambiental (PMA). Con la ampliación, se vieron afectadas más de 1800 hectáreas de la cuenca y con ayuda del PMA permitió reforestar el doble de las áreas afectadas. Adicionalmente para evitar que el material excavado por la construcción de las esclusas se deposite en zonas boscosas, se ubicó una zona de práctica de tiro perteneciente al estado de defensa de los Estados Unidos donde se limpió, se saneo y adapto para depositar el material excavado.

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) aporó el concepto de 4.000.000 de dólares al estado especialmente al ministerio de ambiente. Aparte de la reforestación de las hectáreas afectadas también se han realizado proyectos de siembra de árboles en distintos puntos del país, se rescataron más de 600.000 especies de animales que se encontraban en la zona y reubicación de fauna silvestre. Para los contratistas del proyecto también fue necesario que implementaran medidas para protección de las fuentes hídricas, suelos y la contaminación del aire. Se realizaron compactaciones de los suelos para evitar erosiones, rosiado de las zonas trabajadas para mitigar el polvo generado durante la excavación, control de los residuos sólidos, manejo de los vertimientos, construcción de drenajes para mantener el flujo de agua y cada seis meses el PMA revisa la eficiencia de estas medidas para mayor control. (11)

Una de esas alternativas y mejoras en el diseño del nuevo juego de esclusas (Esclusa de Cocolí y Agua Clara) fue la construcción de las tinas, las cuales

permiten reutilizar el agua que se consume hasta un ahorro del 60% en cada tránsito. Estas tinajas han servido como barreras protectoras para mantener la condición de aguas dulces del lago Gatún y con ayuda de un estricto control y permanente monitoreo que ha permitido garantizar la calidad del agua destinada al consumo de la población.

**2.8.2 Impacto ambiental del canal de Dique.** Desde la construcción del canal del dique las afectaciones al ecosistema de la zona han sido significativas. Uno de los principales problemas es el aumento de transporte de los sedimentos los cuales desembocan en la Bahía de Cartagena y Babacoas<sup>20</sup>, perjudicando sus corales y la vida marina. La situación ha llegado a condiciones críticas donde se han transportado total de sedimentos al comienzo del canal del Dique (la estación de Calamar) hasta de 184 millones de toneladas anuales y hacia su desembocadura llegan un total de 9 millones de toneladas anuales de total de sedimentos. A esta situación se le suma los residuos generados por las poblaciones aledañas al canal del Dique y los cuales son arrojados en el mismo. (12)

Adicionalmente se ha disminuido la salinidad<sup>21</sup> del mar por el ingreso de las aguas dulces. Esta baja salinidad afecta a los corales que necesitan entre el 37 a 35 partes de salinidad y a su vez es uno de los factores que afectan la reproducción de las especies que habitan los arrecifes.

A partir de la situación descrita anteriormente, las inundaciones producidas en gran medida al aumento de los sedimentos y con el fin de recuperar los ecosistemas del canal del Dique el Fondo de Adaptación propuso un macro proyecto, el cual consiste en un plan de manejo hidrosedimentológico comprendido en cuatro etapas:

1. Estructuración y Gestión.
2. Estudios y Diseños.
3. Obras para disminuir el Riesgo de inundación
4. Obras De Esclusas y Compuertas

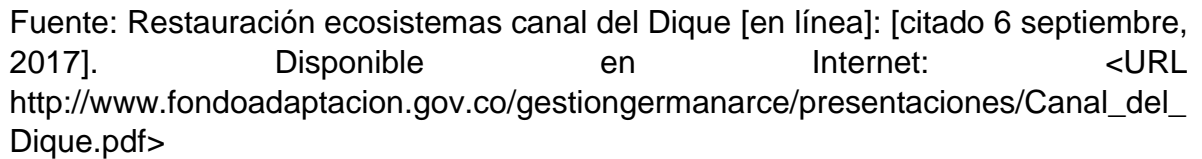
Así mismo con este proyecto se busca una restauración ecológica del agua a partir del sistema, el control de tránsito de sedimentos, monitoreo y control de inundaciones y de la salinidad de los corales de la bahía de Cartagena y Barbacoas, mejoramiento de la navegación por el canal, protección del recurso hídrico para el consumo de agua potable, entre otros.

---

<sup>20</sup> La bahía de Barbacoas ubicada en noroeste del departamento de Bolívar al frente a las islas del Rosario, en Colombia. Sus aguas bañan a la ciudad de Cartagena de Indias.

<sup>21</sup> Salinidad Contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua.

Ilustración 29. Sección típica de prevención para el control de inundaciones



### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de la visita a la universidad tecnológica de Panamá y a las esclusas de Mira Flores y Cocoliso donde se pudo recopilar información que permitirán la comparación con el canal del Dique. Se complementó la información de los dos canales con ayuda de métodos tecnológicos.

Por lo anterior se podrá realizar el análisis y comparación entre ambos canales para obtener parámetros hidráulicos en el diseño de canales.

Tabla 13. Cuadro comparativo de los Canales de Panamá y del Dique

Elemento	Canal de Panamá	Canal del Dique	Comparación
<b>Longitud</b>	77 Km	115 Km	La distancia del canal del Dique es 38 km más largo que la canal de Panamá.
<b>Ancho</b>	Paso culebra: 80 m Lago Gatún: 90 a 300.	80 a 90 m	El ancho del canal del Dique es constante entre 80 a 90 m pero en el canal de Panamá varia su ancho en el paso por el lago Gatún que puede llegar a un ancho de 300 m
<b>Profundidad</b>	Atlántico: 12.8 m Pacífico: 13.70 m	Entre 3.0 a 10.0 m	El canal de Panamá tiene una mayor profundidad que en el canal del Dique.
<b>Taludes de los costados</b>	1:3	2:1	Los taludes del canal de Panamá son tres veces más altos de su base, a diferencia del canal del Dique que su base es el doble de su altura.
<b>Caudales</b>	81.0 m <sup>3</sup> /s	540 m <sup>3</sup> /s	El canal del Dique maneja caudales casi 6 veces más que el canal de Panamá.
<b>Pendiente</b>	Mayor al 50% a nivel del lago Gatún	Entre el 3% y 5%.	En el canal de panamá para el paso del océano pacifico al atlántico maneja pendientes mínimas de 3%, sin embargo, para llegar al nivel del lago Gatún se manejan pendientes mayores al 50 % para permitir el paso ya sea del océano pacifico o atlántico hasta el lago Gatún, en cambio el canal del Dique maneja pendientes muy pequeñas del 3 y 5 %.

Continuación tabla 11.

<b>Sedimentación</b>	Producción promedio de sedimentos totales de 392 (t/año/km <sup>2</sup> ).	Sedimentos totales 29772.72 ton/año/km <sup>2</sup> (100%)	El canal del Dique maneja un elevado porcentaje de sedimentos al ser un canal sin recubrimiento, esto genera problemas de navegación y contaminación en los corales especialmente en la bahía de Cartagena. En cambio el canal de Panamá no tiene gran problema de sedimentos ya que maneja un porcentaje de sedimentos menores a estos.
<b>Recubrimiento</b>	En Hormigón	Sin recubrimiento	El canal de Panamá cuenta con un recubrimiento en hormigón en cambio el canal del Dique por ser un canal excavado no cuenta con recubrimiento.
<b>N de Mannig</b>	0.014	0.022	Dado el tipo de recubrimiento de ambos canales varía la N. de Manning. Al recubrir el canal de Dique permitirá disminuir el N. de Manning y a su vez aumentar el transporte de caudal.
<b>Navegación</b>			El canal de Panamá tanto en las antiguas esclusas como en el nuevo juego de esclusas tiene mayor capacidad dado el tamaño de los buques que se maneja. En cambio, el canal del Dique sus embarcaciones son más pequeñas. Adicionalmente ese canal es utilizado para navegación doméstica, como lo son lanchas para el transporte de personas, utilizados para pesca o para trasladar cargas de poco peso que facilita comunicarse entre los municipios que comprenden el canal.
<b>Navegación</b>			Otra diferencia entre estos canales es el calado que puede pasar por cada uno de los canales. El canal del dique puede tener un calado máximo de 50 pie los cuales corresponden a los buques pospanamax en cambio en el caso del

			canal del dique puede operar con un calado de 9 pies y durante periodos de estiaje se aconseja un calado entre 6 y 7 pies esto dado a los problemas de sedimentación, a la disminución de nivel en ciertas épocas de sequía y la deficiencia de capacidad que cuenta el canal del dique.
<b>Cuenca hidrográfica</b>	3338 Km <sup>2</sup>	4400 Km <sup>2</sup>	El canal del Dique cuenta con una cuenca más grande que la del canal de Panamá.
<b>Secciones Transversales</b>	18.30 m de profundidad	Elevacion es entre - 4.0 hasta 4.0 m	Las secciones transversales del canal de Panamá de las cámaras están diseñadas para el paso de buques panamax o pospanamax, en cambio las secciones transversales del canal del Dique no cuentan con la misma capacidad permitiendo el paso de naves de menor tamaño.

Fuente: La Autora.

#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis y comparación entre el diseño del canal de Panamá y el canal del Dique, en búsqueda de soluciones para el mejoramiento del funcionamiento del canal del Dique, mediante niveles, caudales, áreas transversales del canal, indicando profúndales y anchos, se puede concluir que el canal de Panamá cuenta con parámetros de anchos, profundidades, secciones transversales, que permiten transportar buques de grandes capacidades (Pospanamax) con un calado hasta de 50 pies donde no se ve afectado en tiempo de sequía ni inundación ya que por su diseño de nivelación permite funcionar durante todo el año sin generarse algún inconveniente. A pesar de que el canal del Dique no requiere de un sistema de nivelación ya que sus pendientes están entre el 3% y 4% y su profundidad permita el paso de embarcaciones durante todo el año, su diseño no permita el paso de embarcaciones de grandes dimensiones, permitiendo el paso de barcos con un calado no mayor a 9 pie y en tiempo de estiaje solo permite calado de 6 a 7 pies.

Dada la investigación y las observaciones del canal de Panamá, se puede implementar en el canal del Dique tres aspectos fundamentales que permiten mejorar la condición del canal.

1. Trampa de sedimentos a la entrada del canal del dique ya que en este punto al aumentar los sedimentos se disminuye el nivel del agua del canal.
2. Realizar dragado a lo largo del canal del canal del Dique para aumentar la altura del nivel del agua.
3. Estudiar e instalar esclusas en el canal del Dique que permitirían mayor nivel del agua y al mismo tiempo permita navegación de embarcaciones de mayor calado.

Otra comparación entre los dos canales es que el canal de Panamá al contar con un caudal bajo de 81 m<sup>3</sup>/s, los sedimentos que recorren el canal son mínimos; en cambio en el canal del Dique maneja caudales altos del 540 m<sup>3</sup>/s que permite un mayor arrastre de los sedimentos. Sumado que el canal del Dique adquiere gran cantidades de sedimentos por parte del río Magdalena.

En el caso del canal del Dique, se evidencia un gran problema de sedimentos de los cuales el 15 % de ellos llegan a la bahía de Cartagena afectando el ecosistema marino. A esta situación se le suma la falta de salinidad producida por la entrada de aguas dulces a los arrecifes que afectan la reproducción de la vida marina. Sin embargo, se han venido generando nuevas soluciones para reducir los

sedimentos y generando un mayor control de estos con la ayuda del fondo de adaptación.

Para disminuir la cantidad de sedimentos se deben realizar control de sedimentos en la entrada del canal y recubrimiento en concreto que mitiga el impacto de los sedimentos y mejora la estabilidad de los taludes.

Adicionalmente y dado que el montaje del canal del Dique se halla diseñando como canal excavado sin recubrimiento, el Fondo de Adaptación con el fin de reducir el transporte de los sedimentos, control de las inundaciones y mejorar la navegación por el canal del Dique, ha diseñado un mega proyecto que es considerado como un mini canal de Panamá que cuenta con características de un proyecto hidráulico de una mayor técnica, donde se construirán dos esclusas que contarán con un sistema de dragado permitiendo controlar los sedimentos principalmente la esclusa de calamar la cual se encuentra al inicio del canal y donde se generan la mayor cantidad de sedimentos. También se está recubriendo las orillas del canal con colchacreto que permite controlar la erosión.

Para la construcción y montaje del canal de Panamá se tuvieron en cuenta los parámetros como lo es la longitud del canal de 77 Km, el ancho de 80 m que tiene el trayecto por el paso culebra y 300 m por el paso del lago Gatún, profundidad alrededor de 12.8m a 13.70 m y caudales de 81 m<sup>3</sup>/s y para el canal se tuvieron en cuenta estos mismos parámetros con una longitud del canal de 115 Km, el ancho entre 80 a 90 m, profundidad alrededor de 3 a 10 m y caudales de 540m<sup>3</sup>/s. Estos parámetros varían en el diseño dado a la complejidad de cada proyecto, dado que el canal de Panamá se desarrolla a nivel internacional y el canal del Dique a nivel nacional.

Las características del proyecto hidráulico del canal de Panamá, se ha venido desarrollando y mejorando con aspecto innovador como se evidencian con el nuevo juego de esclusas del canal, que permite por medio de las tinas reutilizar las aguas del lago Gatún hasta un 60% y permitiendo el llenado o vaciado de las cámaras con ayuda de válvulas y un sistema de alcantarillado que conectan las esclusas con el lago Gatún. Adicionalmente de contar con compuertas que permiten el paso de embarcaciones de grandes dimensiones y retener grandes cantidades de agua dentro de las cámaras.

Del estudio de los principales impactos ambientales que causa cada tipo de diseño en la zona de desarrollos se tiene que para el canal de Panamá los principales afectaciones son por la deforestación generada en la construcción del canal, sin embargo y a partir de la experiencia adquirida con la construcción del primer juego de esclusas, el canal de Panamá mejoro su sistema de control ambiental, con



mayor seguimiento desde la construcción del nuevo juego de esclusas, logrando reforestar el doble de las zonas afectadas. Adicionalmente de un mayor control a las embarcaciones que atraviesan el canal para prevenir problema de vertimientos a la cuenca.

## 5. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar realizando las visitas técnicas internacionales ya que permite adquirir nuevos conocimientos y experiencias que permiten ayudar al mejoramiento la calidad y eficiencia de los proyectos que se desarrollan o puedan efectuarse en Colombia.

Es recomendable la posibilidad de recubrir los taludes y el fondo del canal del Dique porque se presentan problemas de deslizamientos de taludes y podemos disminuir el n Manning de 0.22 a 0.14 recubriendo con hormigón al igual que esta el canal de Panamá permitiendo cantidad de canal trasportado ya que el número de Manning es inversamente proporcional al caudal según la ecuación observada a continuación.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

## BIBLIOGRAFIA

363 AÑOS DEL CANAL DEL DIQUE . CARJONA. [En línea] 10 de junio de 2013 [en línea]: [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.arjonastereo.com/correos/363-AOS-DEL-CANAL-DEL-DIQUE.pdf>>

AGULERA DÍAZ, María M. El canal del Dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica. La serie de Documentos de Trabajo sobre Economía Regional es una publicación del Banco de la República – Sucursal Cartagena [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-72\\_\(VE\).pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-72_(VE).pdf)>

Ampliación canal de Panamá, [en línea]: [citado 12 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliacion/>>

ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997) Por la que se Organiza la Autoridad del Canal de Panamá [en línea]: [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2011/12/acp-law-s1.pdf>>

BELEÑO, Samuel Álvarez. Listos los diseños de las esclusas y compuertas para el Canal del Dique. *EL UNIVERSAL*. [En línea] 06 de 05 de 2017. <http://www.eluniversal.com.co/regional/bolivar/listos-los-disenos-de-las-esclusas-y-compuertas-para-el-canal-del-dique-252463>.

CANAL DE PANAMÁ [en línea]: [citado 6 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL <http://micanaldepanama.com/>>

CANAL DE PANAMÁ [en línea]: [citado 19 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL <http://micanaldepanama.com/servicios/canal-servicios-maritimos/programacion-de-transitos/>>

CANAL PANAMÁ Elementos geométricos de la sección de un canal, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/libre/seccion.html>  
<http://micanaldepanama.com/ampliacion/>>

CANALES ABIERTOS [en línea]: [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL

[ftp://soporte.uson.mx/PUBLICO/04\\_INGENIERIA%20CIVIL/Hidraulica%20SZ/Hidraulica%20I%20Cap\\_3\\_Canales.pdf](ftp://soporte.uson.mx/PUBLICO/04_INGENIERIA%20CIVIL/Hidraulica%20SZ/Hidraulica%20I%20Cap_3_Canales.pdf)>

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE CARDIQUE RESOLUCION No. 0345 (Junio 5 del 2001) [en línea]: [citado 15 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.acuacar.com/Portals/0/Resolucion0345Cardique\\_1.pdf](https://www.acuacar.com/Portals/0/Resolucion0345Cardique_1.pdf)>

El canal del dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica, por María M. Aguilera Díaz, Mayo de 2006- [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/DTSER-72\\_\(VE\).pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-72_(VE).pdf)>

Elementos geométricos de la sección de un canal, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/libre/seccion.html>>

ETESA, unimos a Panamá con energía, sitio [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.hidromet.com.pa/regimen\\_hidrologico.php](http://www.hidromet.com.pa/regimen_hidrologico.php)>

<sup>1</sup>Informe Final de la Región Occidental de la Cuenca del Canal, [en línea]: [citado 20 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/rocc/02.pdf>>

Flood protection as a key-component of the environmental restoration of Canal del Dique, Colombia. Royal HaskoningDHV [en línea]: [citado 06 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2016/02/e3sconf\\_flood2016\\_12005/e3sconf\\_flood2016\\_12005.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2016/02/e3sconf_flood2016_12005/e3sconf_flood2016_12005.html)>

FONDO DE ADAPTACIÓN. Canal del Dique. [en línea]: [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://sitio.fondoadaptacion.gov.co/index.php/el-fondo/macroyectos/canal-del-dique>>

GEORGIA TECH PANAMA LOGISTICS INNOVATION & RESEARCH CENTER. Statistics. [en línea]: [citado 06 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://logistics.gatech.pa/>>

HISTORIA DEL CANAL . CANAL DE PANAMÁ. [En línea] <http://micanaldepanama.com/nosotros/historia-del-canal/diseno-de-las-esclusas/>.

Holland.Royal HaskoningDHV wins major flood control contract for Canal del Dique, Colombia. [en línea]: [citado 06 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <https://www.dutchwatersector.com/news-events/news/6884-royal-haskoningdhv-wins-major-flood-control-contract-for-canal-del-dique.html>>

LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE CANALES [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual de Hidraulica de Canales .pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual%20de%20Hidraulica%20de%20Canales.pdf)>

LAS MULAS DEL CANAL DE PANAMÁ. Lacanga.com. [en línea]: [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL <http://www.lacabanga.com/las-mulas-del-canal-de-panama/>>

LEY 161 de 1994 (agosto 3) Diario Oficial No. 41.475, de 5 de agosto de 1994. Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena

LEY ORGANICA DE LA AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMA ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997)  
Por la que se organiza la autoridad del Canal de Panamá en línea]: [citado 13 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: web <http://www.acp.gob.pa/esp/legal/law/chap4.html>

MAZA ALCALA, Decio. Evaluación hidrosedimentadologica en el complejo cenagoso adyacente al canal del Dique. Colombia : s.n., 2008.

MELAMED, Yafá. Impacto ambiental, funcionamiento y perspectivas del Canal Ampliado. *Ambiente & Responsabilidad*. [En línea] <http://www.armagazinepty.com/especial-canal-ampliado/>, 06 de 07 de 2016.  
Moffatt & nichol. Revisión de alternativas. [En línea] 04 de Mayo de 2011. <http://www.fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/memorias/Memorias%20-%20Alternativas%20tecnicas%20para%20el%20Canal%20del%20Dique.pdf>

MONSALVE GARCÍA, Alejandro. El canal del dique: 350 años de lucha continua [en línea]: [citado 26 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/historia/dique/dique.htm>>

OFFICE OF THE HISTORIAN. Building the Panama Canal, 1903-1914 [en línea]: [citado 04 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://history.state.gov/milestones/1899-1913/panama-canal>>

ORDOÑEZ, Jaime Iván, y otros. Balance hídrico y sedimentológico del canal del Dique [en línea]: [citado 21 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2007/index\\_archivos/C/6.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2007/index_archivos/C/6.pdf)>

Proyecto y construcción del Tercer Juego de Esclusas dentro de la Ampliación del Canal de Panamá. SACYR [en línea]: [citado 21 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.sacyr.com/es\\_es/soluciones-de-negocio/Ampliacion-del-Canal-de-Panama.aspx](http://www.sacyr.com/es_es/soluciones-de-negocio/Ampliacion-del-Canal-de-Panama.aspx)>

ROCHA FELICES, Arturo. Hidráulica de tuberías y canales, <https://luiscalderonf.files.wordpress.com/2012/01/hidraulica-de-tuberias-y-canales.pdf>>

RODRIGUEZ, Pedro. Hidráulica II, agosto 2008, [en línea]: [citado 26 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>>

Scielo Colombiano [en línea]: [citado 15 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000155&pid=S0120-5609201300030000800007&lng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000155&pid=S0120-5609201300030000800007&lng=pt)>

SCIENTIFIC AMERICAN, INC. Culebra cut the problem of the slides (November 09, 1912)

Slides at the Panama Canal by Mayor General George W. Goethals, U.S. Army Governor of the Panama Canal, Wahington. Governor printing office. 1916

SUPPLY CHAIN LINK, the Panama canal: expansion predictions [en línea]: [citado 06 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.nfiindustries.com/blog/panama-canal-expansion-predictions/>>

UNESCO World Heritage center. Dike canal [en línea]: [citado 06 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5756/>>

Universidad Nacional De Colombia. Alternativa de reducción del caudal en el canal del dique mediante angostamiento de la sección [en línea]: [citado 21 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <file:///C:/Users/Fabio.sanchez/Downloads/CM-513AnexoG.pdf>>